

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET**

**JOSIP ČOKO**

**KONSTRUKCIJSKA I TEHNOLOŠKA  
OBILJEŽJA NAFTNIH PLATFORMI**

**DIPLOMSKI RAD**

**SPLIT, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET**

**STUDIJ: BRODOSTROJARSTVO**

**KONSTRUKCIJSKA I TEHNOLOŠKA  
OBILJEŽJA NAFTNIH PLATFORMI**

**DIPLOMSKI RAD**

**MENTOR:**

**mag. ing. Srđan Dvornik**

**STUDENT:**

**Josip Ćoko (MB: 01712665848)**

**SPLIT, 2019.**

## SAŽETAK

Zbog sve većeg razvitka industrije i povećanja eksploatacijske iskoristivosti u pogledu poboljšanja performansi paralelno su se razvijali i sistemi crpljenja prirodnih resursa iz dubine mora, koji danas imaju konstrukciju megalomanskih naftnih platformi. Kako bi se odabrala optimalna konstrukcija naftne platforme za zadano područje u kojem sustav vrši bušenje potrebno je poznavati različite karakteristike i uvjete rada naftne platforme. U diplomskom radu opisana je konstrukcija naftnih platformi koje se mogu pronaći na svim današnjim suvremenim crpilištima. Sustavi i podsustavi unutar zadane naftne platforme ne mogu izvršavati svoju funkciju bez dobro projektiranih konstrukcijskih elemenata. U diplomskom radu opisane su najčešće korištene naftne platforme, njihova svrha te fizička svojstva, objašnjeni su uvjeti eksploatacije, uloge i potrebna svojstva koja naftne platforme moraju imati. Cilj ovog diplomskog rada je pružiti informacije kako je razvoj primjene naftnih platformi utjecao na eksploatacijsku učinkovitost i kvalitetu rada pomorskih inženjera.

**Ključne riječi:** *naftna platforma, konstrukcija, eksploatacija, razvoj, primjena.*

## ABSTRACT

In regard to the constant industry advances and increase of exploitation usability due to improved performances, there is a simultaneous development of natural resource extraction systems from deep sea, known today as megalomaniac oil platform constructions. In order to choose the optimal design of the oil platform for the given area in which the system is implemented, it is necessary to know the different characteristics and operating conditions of the oil platform. This master's thesis gives descriptions of oil platform constructions that can be found on all contemporary pumping areas. Systems and subsystems need well designed structural elements for performing their tasks. The thesis describes most commonly used oil platforms, their purpose and physical features as well as exploitation conditions. The aim of this work is to provide information how the development of oil platform application affected exploitation efficiency in work quality for naval engineers.

**Keywords:** *oil platform, construction, exploitation, development, application.*

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. POVIJESNI RAZVOJ NAFTNIH PLATFORMI.....</b>	<b>3</b>
2.1. POVIJEST ISTRAŽIVANJA I EKSPLOATACIJE NAFTE I PLINA U REPUBLICI HRVATSKOJ I JADRANSKOM MORU .....	5
2.2. ISTRAŽIVANJA NA JADRANU .....	9
2.3. GLAVNA SVJETSKA NAFTNA ODOBALNA POLJA .....	11
<b>3. GLAVNA PRAVILA I PROPISI ZA ODOBALNE OBJEKTE.....</b>	<b>14</b>
3.1. MEĐUNARODNA POMORSKA ORGANIZACIJA (IMO).....	14
3.2. MEĐUNARODNA UDRUGA KLASIFIKACIJSKIH DRUŠTAVA (IACS).....	15
3.3. STANDARDI, KODEKSI I PROPISI OBALNIH VLASTI.....	16
3.4. MEĐUNARODNA KONVENCIJA O SPRJEČAVANJU ONEČIŠĆENJA MORA S BRODOVA - POGLAVLJE 7 ( <i>PRILOG 39.</i> ) .....	17
<b>4. PROJEKTNI ZAHTEJEVI ZA IZGRADNJU NAFTNE PLATFORME .</b>	<b>20</b>
4.1. PROJEKTNI KRITERIJI I PRINCIPI .....	20
4.2. RAZINE OPTEREĆENJA NAFTNE PLATFORME .....	21
4.3. PROJEKTNJA OPTEREĆENJA VALOVA, VJETRA I MORSKIH STRUJA NA NAFTNU PLATFORMU.....	22
<b>5. KONSTRUKCIJA NAFTNIH PLATFORMI I NJIHOVA PODJELA ...</b>	<b>26</b>
5.1. FIKSNE NAFTNE PLATFORME .....	29
5.1.1. Konvencionalne fiksne platforme .....	30
5.1.2. Gravitacijske fiksne platforme .....	32
5.1.3. Platforma s fleksibilnim tornjem .....	33
5.1.4. Samopodižuća platforma sa poduprtim čeličnim nogama .....	34
5.2. POKRETNE NAFTNE PLATFORME .....	40
5.2.1. Spar platforme.....	40
5.2.2. Platforme s nategom u nogama .....	45
5.2.3. Mini platforme s nategom u nogama <i>TPL</i> .....	48
5.2.4. Poluuronjive naftne platforme.....	50
5.3. MODERNA GENERACIJA AUTONOMNIH PLATFORMI .....	52
5.4. OSTALI OBJEKTI KOJI SLUŽE ZA CRPLJENJE NAFTE S MORSKOG DNA .....	53

5.5. FPSO SUSTAVI ZA SKLADIŠTENJE NAFTNIH DERIVATA .....	57
<b>6. RADNI DIJELOVI I TEHNOLOŠKA OBILJEŽJA SUSTAVA NAFTNIH PLATFORMI .....</b>	<b>59</b>
6.1. DLIJETO .....	61
6.2. KOLONA CIJEVI ZA BUŠENJE .....	65
6.3. KELLY POGON I ROTACIJSKI STOL .....	68
6.4. ROTACIJSKI ČVOR I BLOK S KUKOM.....	71
6.5. MEHANIZAM DIZALICE .....	72
6.6. SPREMNIK ISPLAKE I PUMPA ISPLAKE .....	74
6.7. UREĐAJ ZA KONTROLU KRUTIH TVARI .....	78
<b>7. TEHNOLOŠKA OBILJEŽJA IZRADE NAFTNIH BUŠOTINA.....</b>	<b>81</b>
7.1. NAČINI USMJERAVANJA KANALA BUŠOTINE .....	83
7.2. TEHNOLOGIJA IZRADE HORIZONTALNIH BUŠOTINA VELIKOG DOSEGA.....	86
<b>8. IZVOR NAPAJANJA NAFTNIH PLATFORMI.....</b>	<b>89</b>
<b>9. SIGURNOSNI SUSTAVI NAFTNIH PLATFORMI .....</b>	<b>93</b>
9.1. ULOGA I VAŽNOST SIGURNOSTI NA NAFTNIM PLATFORMAMA .....	93
9.2. VRSTE OPASNOSTI NA PLATFORMAMA .....	94
9.3. SIGURNOSNI SUSTAVI ZA DETEKCIJU OPASNOSTI .....	96
<b>10. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>99</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>101</b>
<b>POPIS ILUSTRACIJA .....</b>	<b>104</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>107</b>

# 1. UVOD

Istraživanje i eksploatacija ugljikovodika nisu mogući bez izrade naftnih i plinskih bušotina. Razvojem različitih segmenata unutar tehnologije izrade bušotina postalo je moguće bušenje u sve težim uvjetima kao što su: visoki tlakovi i temperature na dnu bušotine, velike dubine zalijeganja ležišta ugljikovodika, bušenje u dubokim vodama, bušenje kroz djelomično iscrpljena ležišta, bušenje kroz problematične reaktivne naslage, zone gubljenja isplake itd.

Primjenom različitih tehnoloških rješenja omogućeno je postizanje smanjenja neproduktivnog vremena tijekom izrade kanala bušotine, a time i ukupnih troškova. Diplomski rad se temelji na proučavanju konstrukcije i tehnoloških obilježja odobalnih naftnih platformi. Platforme kao odobalni izolirani objekti izloženi su različitim opasnostima. Njihova izloženost opasnostima stvara rizik za sigurnost što ih čini visokorizičnim objektima. Zahtijevaju sustavan pristup izradi i održavanju konstrukcijskih elementima kako bi se umanjili rizični utjecaji na njihovu sigurnost. Veliki broj nesreća koje se odnose na platforme imale su razorne i nepovratne posljedice na morski i obalni okoliš. Već dugi niz godina naftna i pomorska industrija kombinira znanja i iskustva kako bi sistematizirali i unaprijedili kvalitetu eksploatacije.

Metodologija izrade ovog diplomskog rada obuhvaća definiranje predmeta istraživanja, definiranje ciljeva, te metoda koje se koriste za prikupljanje, analizu i interpretaciju podataka.

Glavni cilj ovog diplomskog rada je prikazati najčešća konstrukcijska i tehnološka obilježja na suvremenim platformama sa svim bitnim karakteristikama i elementima. Radi cjelovitijeg uvida u temu u radu su prikazane vrste platformi i njihove osnovne konstrukcijske karakteristike.

Koncipiranje i izrada rada temeljeni su na sustavnom proučavanju dostupne stručne literature, knjiga, stručnih i znanstvenih radova, izvornih članaka, međunarodnih konvencija, zakona, propisa, i korištenjem interneta.

Ovaj diplomski rad sastoji se od osam osnovnih dijelova u kojima je opisana problematika konstrukcije i tehnoloških obilježja naftnih platformi.

U prvom poglavlju govori se o povijesnom razvoju naftnih platformi. Opisuje se proces razvoja od samog početka i prvih bušotina pa sve do današnjih modernih odobalnih naftnih postrojenja. Prolazi se kroz razvoj odobalnih tehnologija u jadranskom moru, svijetu i pitanja o karakteristikama glavnih svjetskih naftnih odobalnih polja.

Drugo poglavlje se bavi konvencijama, glavnim pravilima i propisima za odobalne objekte koje su odgovorne za sigurno i ekološki odgovorno upravljanje odobalnim objektima. Povećana pažnja se primjenjuje za sprječavanje nastajanja ekološkog zagađenja tijekom eksploatacije.

Treće poglavlje opisuje projektne zahtjeve za izgradnju naftne platforme. U osnovi ovo poglavlje je izuzetno važno jer opisuje projektne zahtjeve za izgradnju naftne platforme te dozvoljene razine opterećenja koje naftna platforma mora izdržati

Četvrto poglavlje opisuje konstrukciju naftne platforme i njihovu podjelu. Ovo poglavlje daje detaljan opis kao i konstrukcijske karakteristike fiksnih i pokretnih naftnih platformi, kao i opist ostalih odobalnih objekata koji služe za crpljenje naftnih derivata s morskog dna.

Peto poglavlje opisuje radne dijelove sustava naftnih platformi. Ovo poglavlje daje detaljan opis kao i konstrukcijske karakteristike radnih dijelova kao što su: dlijeto, bušča cijev, kelly pogon, rotacijski stol, blok s kukom, spremnik isplake i pumpa isplake, uređaj za kontrolu krutih tvari, mehanizam dizalice itd.

Šesto poglavlje opisuje tehnologiju izrade naftnih i plinskih bušotina. Ovo poglavlje daje detaljan opis izrade naftnih i plinskih bušotina, načine usmjeravanja kanala bušotine i tehnologija izrade horizontalnih bušotina velikog dosega.

Sedmo poglavlje opisuje izvor napajanja naftnih platformi. Ovdje je prikazan caterpillar motor koji se ugrađuje kao izvor napajanja na naftnim platformama a koji se sastoji od dijelova kao: modul za ulje/ulje za hlađenje, *MDO* tank, soba za električnu opremu, ispušni prigušivač, dovod goriva/modul za povišenje goriva, spremnik sirove nafte, ventilacija van, dovod zraka za izgaranje, sustav za gašenje požara vodom, servisna dizalica i ventilacija.

Osmo poglavlje opisuje sigurnosne sustave naftnih platformi Ovo poglavlje razmatra ulogu i važnost sigurnosti na naftnim platformama i daje detaljan opis sigurnosnih elemenata u sustavu kao što su: *RADAR*, *AIS*, *CCTV/IC* kamere i *SONAR*.

U okviru izrade dijela diplomskog rada korištena je metoda analize i sinteze, deskripcije i metoda kompilacije. Metoda analize odnosi se na raščlanjivanje složenijih pojmova, sudova ili zaključaka na manje i jednostavnije sastavne dijelove kako bi se mogli pojedinačno izučavati. Metoda sinteze predstavlja postupak znanstvenog istraživanja putem spajanja dijelova ili pojedinačnih elemenata u jednu cjelinu. Metoda deskripcije temelji se na opisivanju činjenica i empirijskom potvrđivanju veza i odnosa među činjenicama. Metoda kompilacije podrazumijeva preuzimanje tuđih rezultata, opažanja, stavova, zaključaka spoznaja [11].

## 2. POVIJESNI RAZVOJ NAFTNIH PLATFORMI

Nafta je bila korištena u rasvjetne svrhe već tisućama godina. U područjima gdje se nafta nalazi u plitkim rezervoarima može se prirodno razliti područje sirove nafte ili plina, a nešto nafte može se jednostavno prikupiti iz ribnjaka ili katrana.

Kinezi su bili prvi ljudi koji su bušili bušotine, otprilike 2000. godine prije Krista, koristeći metodu udaranja kablovskih alata za proizvodnju slane otopine. Dlijeto na šipkama od bambusa spuštено je u bunar na kablovima debljine 1-4 cm koje je tkano od indijske trske. Prve bušotine u Rusiji (*metoda udaraca štapom*) izbušene su u 9. stoljeću, a korištene su i za dobivanje otopine obične soli. Povijesno znamo priče o vječnim požarima u kojima su naftu i plin koristili za paljenje. Jedan primjer je mjesto na kojem je sagrađen čuveni *Oracle of Delphi* oko 1000 prije Krista. Pismeni izvori 500 godina prije Krista opisuju kako su Kinezi koristili prirodni plin da bi skuhalo vodu. Tek 1859. godine pukovnik Edwin Drake izbušio je prvu uspješnu naftnu bušotinu s jedinom svrhom pronalaska nafte. Drake je usred mirne farme na sjeverozapadu Pensilvanije pokrenuo međunarodnu potragu za industrijskom upotrebom nafte.

Razvoj proizvodnje nafte počeo je naknadnim napretkom tehnologije bušenja. Do sredine 19. stoljeća nafta se izvlačila u malim količinama, obično iz plitkih naftnih bunara. Od druge polovice 19. stoljeća, potražnja za naftom i posebno njezinim komponentama počela je rasti. To se dogodilo s povećanom upotrebom parnih strojeva i drugim industrijskim dostignućima, koji su zahtijevali ogromne količine maziva [1].

Na slici 1. prikazani su naftni bunari koji su bili dosta plitki prema modernim standardima, često duboki manje od 50 m, ali stvarali su velike količine nafte.



Slika 1. Prikaz prve naftne bušotine iz muzeja *Drake Well* [1]



Na ovoj slici *farme Tarr*, izvorište Phillipsa s desne strane u početku je proizvelo 4000 barela dnevno u listopadu 1861. godine, a *Woodford bunar* na lijevoj strani crpio je s 1500 barela dnevno u srpnju 1862. godine. Nafta je sakupljana u drvenim tankovima. U to vrijeme veličina barela nije bila standardizirana, što je davalo izjave poput *nafta se prodaje za 5 dolara po barelu* vrlo zbunjujuće (*danās je barel 159 litara*). Ubrzo je nafta zamijenila većinu drugih goriva za motorizirani transport. Automobilska industrija razvila se krajem 19. stoljeća i brzo je prihvatila naftu kao gorivo. Benzinski motori bili su presudni za projektiranje modernih zrakoplova. Brodovi pogonjeni naftom mogli su se kretati do dvostruko brže nego njihovi prethodnici s pogonom na ugljen, što je vitalna vojna prednost. Plin je spaljen ili ostavljen u zemlji. Unatoč pokušajima transporta plina još 1821. godine, tek nakon Drugog svjetskog rata tehnike zavarivanja i metalurški napredak omogućili su izgradnju pouzdanih cjevovoda za velike daljine, stvarajući procvat industrije prirodnog plina.

Oko 1891. godine izbušene su prve podvodne naftne bušotine s platformi izgrađenih na slatkim vodama *Grand Lake St. Marys* u Ohiju. Široki, ali plitki rezervoar izgrađen je od 1837. godine do 1845. godine kako bi osigurao vodu u Miami i *Erie kanalu*. Oko 1896. godine izbušene su prve potopljene naftne bušotine u slanoj vodi na dijelu polja *Summerland* koji se prostirao ispod kanala *Santa Barbara* u Kaliforniji.

Zapažena rana bušenja na moru dogodila su se na kanadskoj strani jezera *Erie* od 1913. godine. Ubrzo nakon toga bušotine su izbušene u plimnim zonama duž obala zaljeva u *Teksasu* i *Luizijani*. Polje *Goose Creek* u blizini Baytowna (*Teksas*), jedan je takav primjer. U 1920-ima bušenje je rađeno na betonskim platformama u jezeru *Maracaibo* u Venezueli. Naftna platforma, obalna platforma ili obalna bušilica je velika građevina s mogućnostima bušenja bušotina za istraživanje, vađenje, skladištenje i preradu nafte i prirodnog plina koja se nalazi u stijenama ispod morskog dna. U mnogim slučajevima platforma sadrži opremu za smještaj radne snage. Naftne platforme najčešće sudjeluju u aktivnostima na kontinentalnom pojasu, mada se također mogu koristiti u jezerima, obalnim vodama i unutarnjim morima. Ovisno o okolnostima, platforma može biti pričvršćena na dno oceana, može se sastojati od umjetnog otoka ili može plutati. Udaljeni podmorski bunari mogu se također povezati s platformom protočnim linijama.

U današnje vrijeme crpljenje nafte doseže velike razmjere, *Sjedinjene Države* proizvode oko 4,9 milijuna barela sirove nafte dnevno, a uvoze 9,8 milijuna barela dnevno iz drugih zemalja. To ulje se rafinira u benzin, kerozin, lož ulje i ostale proizvode. Kako bi održali korak s potrošnjom, naftne kompanije moraju stalno tražiti nove izvore nafte, kao i poboljšavati proizvodnju postojećih bušotina.

Danas u svijetu pronalazimo naftne platforme megalomanskih konstrukcija koje mogu eksploatirati naftu iz velikih dubina oceanskog dna. Jedno od najdubljih čvorišta na svijetu trenutno je *Perdido* u Meksičkom zaljevu, koji pluta u 2438 m vode. Njime upravlja *Royal Dutch Shell*, a izgrađena je po cijeni od 3 milijarde dolara. Najdublja operativna platforma je *Petrobras America Cascade FPSO* u polju *Walker Ridge 249* u 2600 m vode.

Konsenzus stručnjaka je da će offshore bušenje i dalje rasti, s naglaskom na tehničkim napretkom kako bi se smanjili troškovi bušenja. Industrija je pokazala da se može bušiti u jako velikim dubinama vode i da se može raditi u najtežim okruženjima, ali sve uz vrlo visoku cijenu koja dnevno može premašiti stotine tisuća dolara. Uobičajeni su dubokovodni bunari koji koštaju više od 50 milijuna dolara, a neki premašuju više od 100 milijuna dolara. Najveći problem je vrlo teško opravdanje bušotine koja toliko košta. Izazov u offshore industriji je sigurno i ekonomično bušenje, što znači *ekonomska tehnologija*, a sigurnost, okoliš, sigurnost i zdravlje osoblja igraju veliku ulogu [18].

## **2.1. POVIJEST ISTRAŽIVANJA I EKSPLOATACIJE NAFTE I PLINA U REPUBLICI HRVATSKOJ I JADRANSKOM MORU**

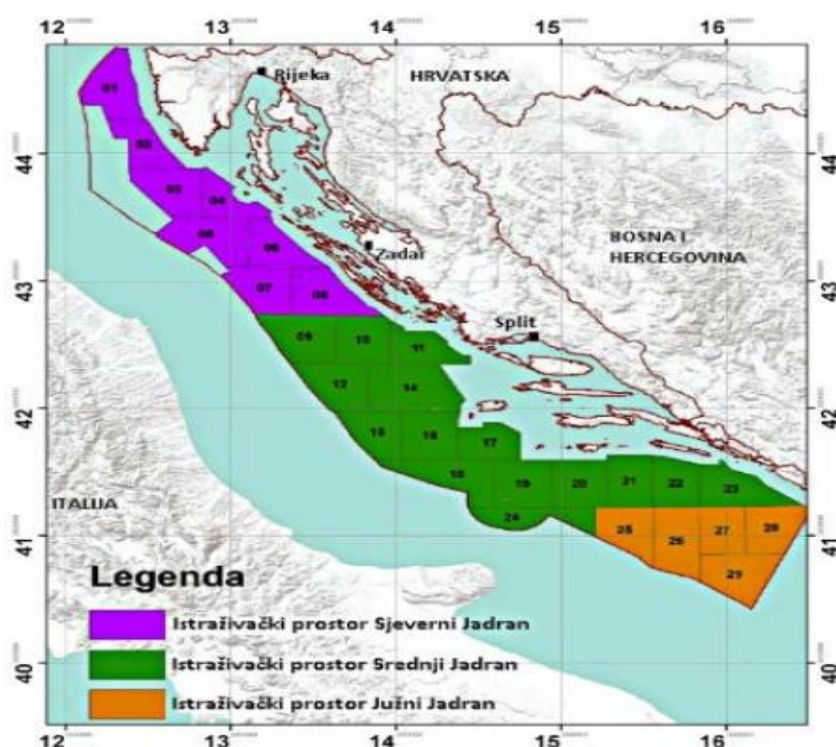
Republika Hrvatska ima bogatu povijest iskorištavanja rudnog bogatstva, odvija se već desetljećima te na kopnu traje preko 60 godina, a na moru preko 40 godina, prvo plinsko polje u *RH* otkriveno je 1917. godine, dok je prvo naftno polje u *RH* otkriveno 1941. godine. Do sada je izrađeno oko 4500 istražnih i razradnih bušotina. Od toga je trenutno oko 1200 eksploatacijskih naftnih bušotina i oko 200 eksploatacijskih plinskih bušotina.

Izradu bušotina uglavnom izvodi kompanija *Crosco* – član *INA* grupe koja je izbušila preko 4000 bušotina ukupne duljine preko 6300000 m, a posjeduje 11 kopnenih bušačih postrojenja tipa *National*, *Emsco*, *Midco*, *Ideco*, *Skytop* te jednu samopodizuću bušaću platformu (*eng. jack up rig*) - *Labin*. Maksimalni kapacitet izrade bušotina je do 8000 m ovisno o postrojenju [5]. U razdoblju od 1952. godine (*od osnutka Naftaplina*) do danas u Hrvatskoj je opremljeno i pušteno u rad 45 naftnih (*Beničanci*, *Stružec*, *Žutica*, *Šandrovac*, *Bilogora* itd.) i 30 plinskih polja (*Molve*, *Bokšić*, *Kalinovac*, *Stari Gradac*, *Okoli* itd. ).

Istraživanje i eksploatacija ugljikovodika u Republici Hrvatskoj povijesno je važan pokretač rasta gospodarstva. Istraživanje i eksploatacija ugljikovodika na kopnu traje preko 60 godina te se danas u kopnenom dijelu Hrvatske intenzivno proizvode plin i nafta, dok na području Jadranskog mora povijest istraživanja i eksploatacije ugljikovodika traje preko 40 godina te se od 1999. godine na hrvatskom dijelu Jadranskog mora proizvodi plin.

Na sjevernom dijelu Jadrana, u okolici Istre, Republika Hrvatska ima 19 plinskih proizvodnih platformi i jednu kompresorsku na koje je spojena 51 eksploatacijska proizvodna bušotina unutar tri eksploatacijska polja, a iz kojih se godišnje proizvede oko 1,2 milijarde m<sup>3</sup> plina. U prošlosti je na cijelom hrvatskom dijelu Jadranskog mora izrađeno 128 istražnih i 51 eksploatacijska proizvodna bušotine te su na nekim bušotinama registrirani tragovi nafte. U bušotini *Jadran* je 1973. godine, 58 km zapadno od Pule, pronađeno prvo otkriće plina na hrvatskoj strani Jadrana [7].

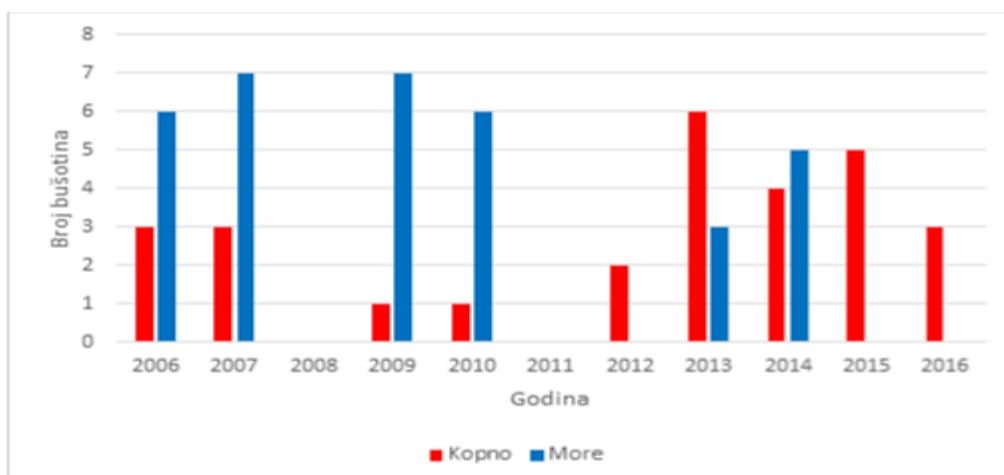
Jadransko more se dijeli na područja istraživanja kojih ima približno 30. Na slici 2. su prikazana istraživačka područja na Jadranu i površine koje obuhvaćaju.



Slika 2. Prikaz istraživačkih područja na Jadranu [7]

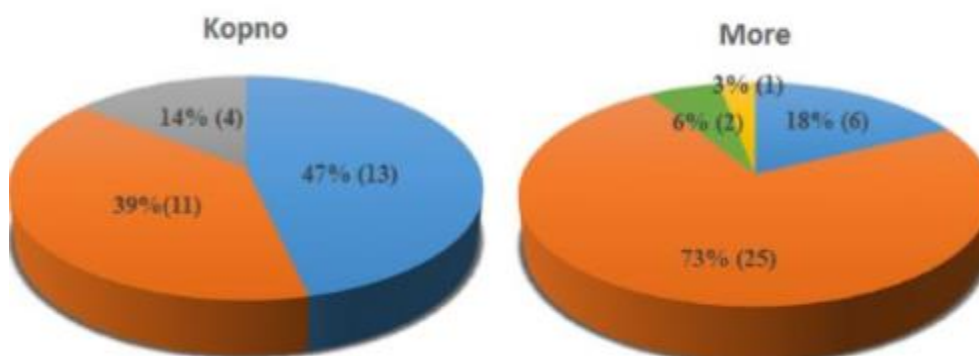
Na području Jadranskog mora povijest istraživanja i eksploatacije ugljikovodika traje preko 45 godina. Bušenje hrvatskog dijela sedimentnog bazena jadranskog podmorja započelo je izradom bušotine *Jadran 1*, nasuprot Dugog otoka, 1970. godina s bušaće platforme *Neptun*, nastavljeno izradom bušotina s platforme *Panon* (bušotina *Jadran 11*, 1977. godine), te kasnije intenzivirano izradom bušotina s poluuronjive platforme *Zagreb 1* (od 1981. godine) i platforme *Labin* (od 1983. godine). Istražnom bušotinom *Jadran 6*, otkriveno je 1973. godine polje *Ivana*, prvo i ujedno najveće plinsko polje na području Jadranskog mora. Od 1999. godine iz plinskih ležišta hrvatskog dijela jadranskog podmorja pridobiva se prirodni plin [5].

Na slici 3. prikazana je analiza bušotina koje su izrađene u *RH* u posljednjih deset godina odnosno u periodu od 2006. do 2016. godine. U navedenom 10 godišnjem razdoblju izbušene su ukupno 62 bušotine, 28 na kopnu i 34 na moru. U 2008. i 2011. godini nije izrađena niti jedna bušotina [7].



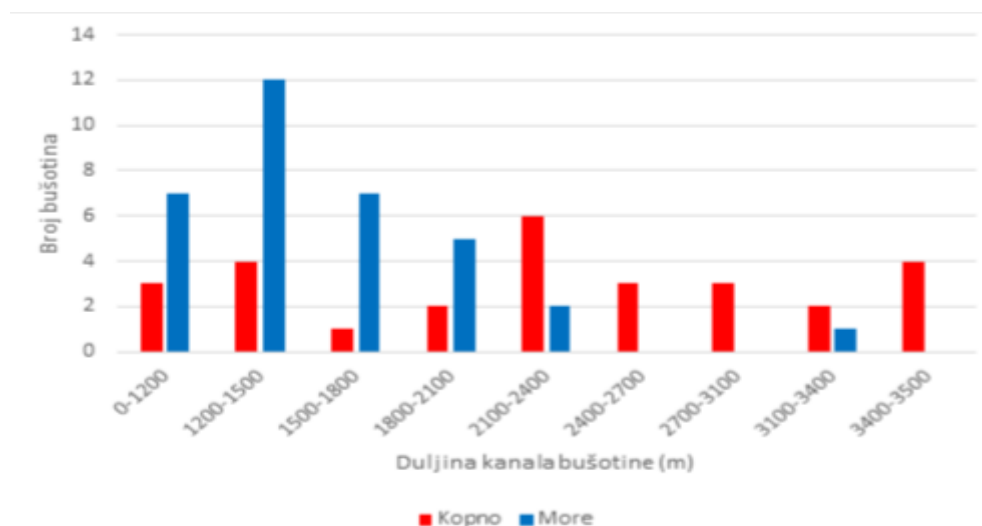
**Slika 3. Broj izbušenih bušotine na kopnu i moru u *RH* u razdoblju od 2006. do 2016. godine [5]**

Udio pojedinog tipa bušotine u broju izrađenih bušotina na kopnu i moru prikazan je na slici 4. U razmatranom periodu na kopnu su bile najzastupljenije vertikalne bušotine (13 bušotina), zatim usmjerene bušotine (11 bušotina), a izrađene su i četiri bočne bušotine iz postojećeg kanala. Tijekom 10-godišnjeg razdoblja na kopnu nije izrađena niti jedna horizontalna bušotina. Na moru je izrađeno najviše koso usmjerenih bušotina (25 bušotina), 6 vertikalnih, 2 horizontalne i 1 bočna horizontalna [5].



**Slika 4. Udjel pojedinog tipa bušotine u ukupnom broju bušotina u *RH* izrađenih na kopnu i moru u razdoblju od 2006. do 2016. godine [5]**

Ukupna duljina svih izbušenih kanala (62 *bušotine*) od 2006. do 2016. godine iznosi 117087,9 m, od čega duljina bušotinskih kanala na kopnu iznosi 64471,89 m, a na moru 52616,2 m [5]. Na slika 5. vidljiv je usporedni prikaz broja bušotina u odnosu na duljinu njihova kanala u razdoblju od 2006. do 2016. godine [5].



**Slika 5. Usporedni prikaz broja bušotina u odnosu na duljinu njihova kanala u razdoblju od 2006. do 2016. godine [5]**

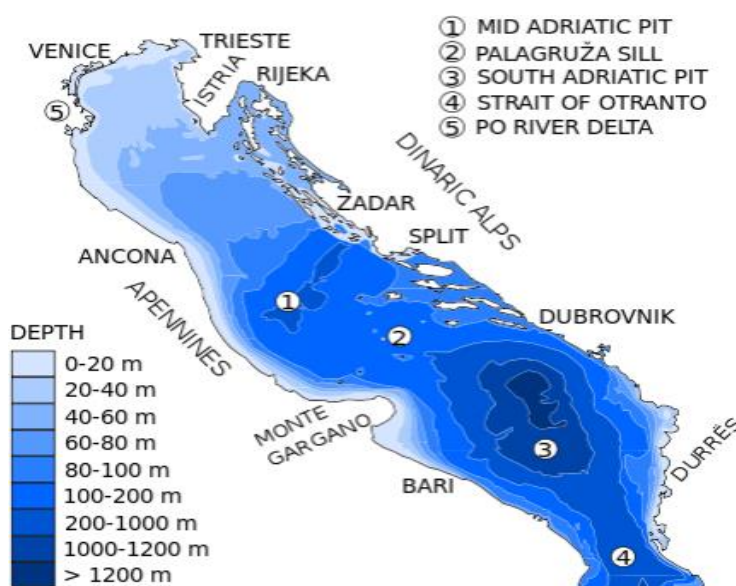
Dublje bušotine su zastupljenije na kopnu nego na moru. Razlog tome su veće dubine zalijeganja ležišta na kopnu koja su probušena razmatranim bušotinama.

## 2.2. ISTRAŽIVANJA NA JADRANU

Republici Hrvatskoj pripada više od 54000 km<sup>2</sup> površine Jadranskog mora. Podmorje Jadrana dijeli se na tri područja, od sjevera prema jugu to su:

- Područje između *Istre* i ušća rijeke *Po*, gdje je dno blago razvedeno s maksimalnim dubinama do 39 m te se može bušiti pomoću jednostavnijih platformi (*tu se nalazi plinsko polje Ika*),
- Od poteza *Ravenna - Pula* do crte *Ancona - Zadar* dubine su pretežno do 70 m, s razvedenijim dnom,
- Od spojnice *Monte Gargano – Pelješac – Mljet* prema jugu dno je na dubinama od 200 m do 1000 m dubine s izraženom razvedenošću [7].

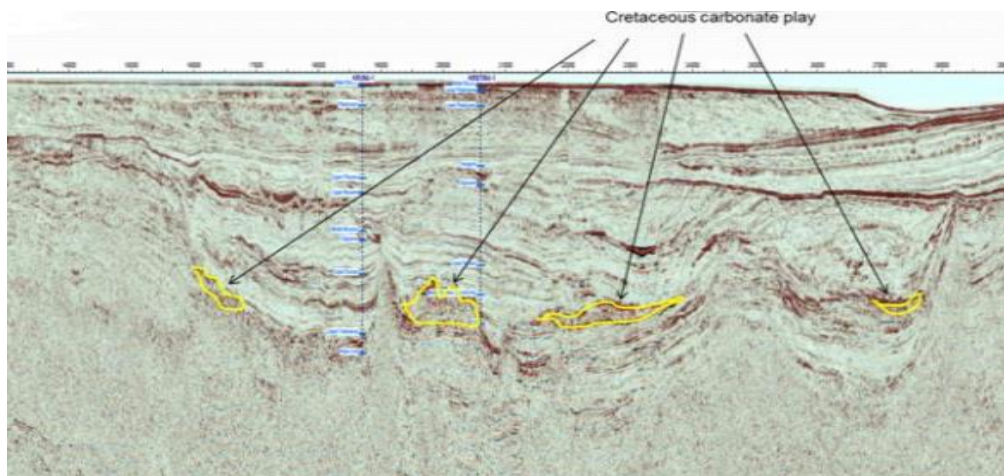
Detaljan prikaz navedenih područja može se uočiti na slici 6.



Slika 6. Shematski prikaz podjele Jadrana [7]

Istraživačkim bušotinama *INA* u hrvatskom dijelu Jadrana nisu nabušene komercijalne količine nafte, ali su registrirane manje pojave u nekoliko njih. Naftnogeološki potencijal jadranskog podmorja ipak je potvrđen, jer su u Jadranu utvrđena ležišta plina koja se danas eksploatiraju i razrađuju, a u cijelom Jadranu dokazano je nekoliko horizonata matičnih stijena visoke starosti. Ležišta plina Jadrana nalaze se u slojevima koji su smješteni relativno plitko te su naslage u tom području dobro istražene. Ostaje otvoreno pitanje potencijala starijih geoloških slojeva u tom području, koji se nalaze na većim dubinama. Plinska polja u Jadranu otkrivena su uporabom seizmičkih 2D i 3D podataka, koji su prikupljeni između 1968. i 2007. godine [7].

Na slici 7. vidljiva je 2D snimka potencijalne nakupine nafte u Jadranskom moru.



**Slika 7. 2D snimka potencijalne nakupine nafte u Jadranskom moru [7]**

Najnovija seizmička istraživanja, odnosno 2D seizmičko snimanje hrvatskog dijela Jadranskog mora provela je kompanija *Spectrum Geo*. Istraživanja su započela početkom rujna 2013. godine, a završena su u drugoj polovici siječnja 2014. godine.

U istraživanje je bio uključen Hrvatski geološki institut koji je imenovan od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa da, kao mjerodavna znanstvena institucija, prati tijek snimanja. 2D seizmičko istraživanje izvedeno je brodom *Northern Explorer* specijaliziranom za seizmička snimanja. Tijekom izvođenja projekta, prvi put su snimljeni i prikupljeni suvremeni podatci dugačkim nizom prijamnika, pri čemu je korištena najsuvremenija tehnologija seizmičkog 2D snimanja. Treba napomenuti da su takvi suvremeni 2D seizmički snimci, za razliku od 2D snimaka prikupljenih u prethodnim istraživanjima, znatno jasniji te omogućuju uvid u dublju strukturnu građu jadranskog podmorja.

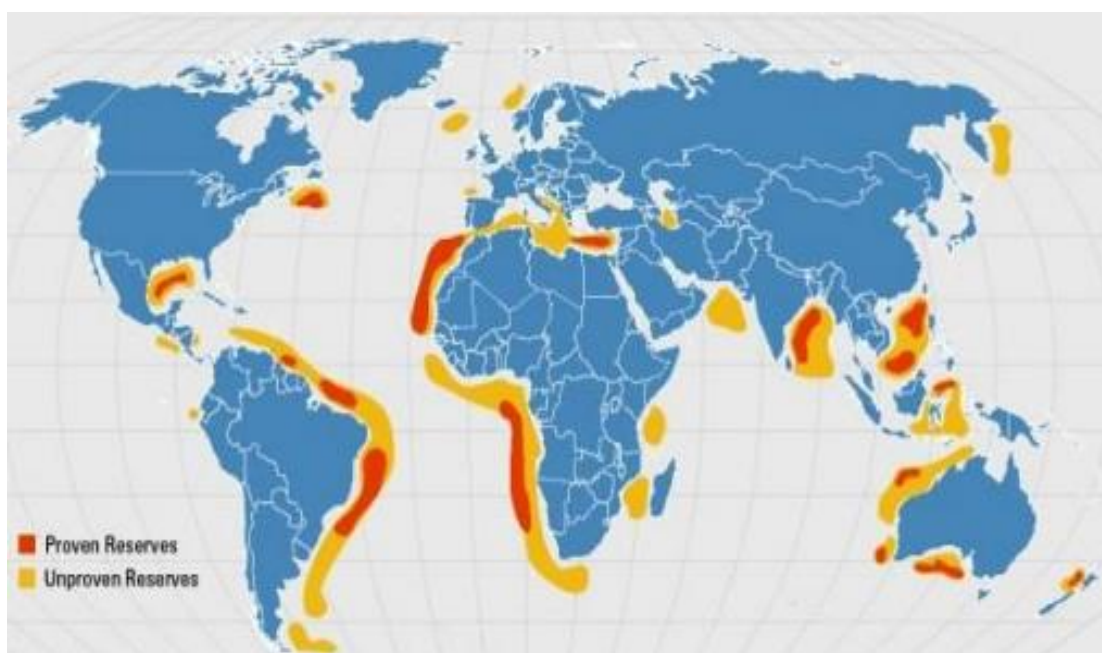
Ukupno je snimljeno dužinski oko 15000 km linija seizmičkih profila pružanja *SZ - JI* te *SI - JZ*, odnosno paralelnih i okomitih na pružanje Dinarida. Važno je napomenuti da 2D seizmički snimci ne mogu pokazati fizičku prisutnost ugljikovodika, nego otkrivaju geološko-strukturnu građu podzemlja, odnosno omogućuju uvid u potencijalne, uglavnom strukturne, zamke za naftu i plin. 2D seizmičko snimanje samo je prva faza u istraživanjima ugljikovodika, nakon koje slijedi 3D modeliranje na područjima koja pokazuju naftno/plinski potencijal zahvaljujući svojoj strukturnoj građi [7].



### 2.3. GLAVNA SVJETSKA NAFTNA ODOBALNA POLJA

Velika odobalna polja raširena su u cijelom svijetu, ali prva tri najveća priobalna naftna područja nalaze se u Perzijskom zaljevu. To je rezultat aktivnosti bušenja nafte od 1950-ih. Također, s druge strane svijeta postoje značajna područja na moru. Bazen *Santos* kraj obale Brazila veliko je naftno polje kao i polje *Kashagan*, u Sjevernom Kaspijskom moru, najveće je područje izvan Bliskog Istoka. Ostala velika polja su Meksički zaljev i Sjeverno more.

Slika 8. predstavlja prikaz najbogatijih naftnih područja na svijetu gdje se na slici može vidjeti kako su obale Brazila, Meksičkog zaljeva i bliskog istoga najbogatija naftom.



Slika 8. Najveća odobalna naftna polja [9]

Perzijski zaljev ima tri najveća priobalna polja na svijetu. *Safanija* u Saudijskoj Arabiji je najveća i u njenom je vlasništvu i upravlja *Saudi Aramco*. Ukupna rezerva nafte iznosi više od 36 milijardi barela. Drugo najveće polje nalazi se u Ujedinjenim Arapskim Emiratima i zove se *Gornji Zakum*. U vlasništvu je poduzeća pod nazivom *Zakum Development Company* (*Abu Dhabi National Oil Company* 60%, *ExxonMobil* 28% i *Japan Oil Development Company* 12%). Procijenjena rezerva nafte je do 21 milijarde barela. U plitkoj vodi Saudijske Arabije nalazi se naftno polje zvano *Manifa*. Treća je najveća na svijetu. Ukupna rezerva nafte iznosi više od 13 milijardi barela [9].



Najveće priobalno polje izvan Bliskog Istoka nalazi se u Kazahstanu, *Kashagan*. Ukupno ima do 35 milijardi barela nafte, a procijenjena rezerva nafte je oko devet milijardi barela. Otkriven je 2000. godine, a bio je u vlasništvu *KMG, Eni, ExxonMobil, Shell, Total, ConocoPhillips i INPEX*. Očekuje se da će se proizvodnja povećati gotovo deset puta do 2021. godine.

U Santosu u Brazilu nalazi se polje *Lula* koje je veliko priobalno naftno područje. Glavni upravitelj polja je *Petrobras* koji posjeduje 65%. Ostali eminentni vlasnici su *BG Group* i *Galp Energia*. Približna obnovljiva rezerva nafte iznosi oko 6,5 milijardi barela. Polje je otkriveno 2007. godine, a proizvodnja je započela 2010. godine.

Meksički zaljev područje je koje je usvojeno u tradiciji bušenja nafte na moru. Offshore aktivnosti nastaju iz tridesetih godina prošlog stoljeća kada je država Louisiana pronašla svoje prvo offshore polje. Obala Alabame, Louisiane, Mississippija i Teksasa glavni je izvor nafte u Sjedinjenim Državama.

Sjeverno more je veliko obalno polje u Europi, a njime upravljaju Norveška, Nizozemska, Velika Britanija, Njemačka i Danska. Norveška je najveći proizvođač nafte u Europi i drugi najveći izvoznik prirodnog plina u svijetu. Norveška ima najveće rezerve nafte u zapadnoj Europi. Prema časopisu *The Oil and Gas Journal*, dokazana rezerva nafte u Norveškoj iznosi 5,3 milijarde barela. *Statoil* je glavni operator u Sjevernom moru i kontrolira 80% proizvodnje nafte i plina u Norveškoj. Okolnosti su na sjevernom moru postavile su izazove dizajnerima s niskim temperaturama u usporedbi s ostalim obalnim dijelovima svijeta.

Pomorske operacije zapadne Afrike koncentrirane su na obale Nigera, Angole i Konga. Istraživanje nafte nastalo je ranih 1960-ih, kada je mnogo plitkih naftnih polja stavljeno u proizvodnju na obali zapadne Afrike. Otkrića nafte nalaze se u vodenim dubinama većim od 300 metara, te se zbog toga visokokvalitetna oprema na moru se koristi na obali zapadne Afrike, kao i u Meksičkom zaljevu i Brazilu. Zapadna Afrika jedno je od najbrže rastućih područja istraživanja i proizvodnje na svijetu [9].

Offshore industrija se također proširila na izazovni Arktički ocean gdje su okolnosti postavile izazove za bušenje. Razlog širenja je broj neotkrivenih resursa nafte i plina. U 2008. godini *Geološki institut Sjedinjenih Država* procjenjuje da bi preko 20% svjetske nafte i plina moglo biti na arktičkom području. Najveća područja istraživanja nalaze se u Atlantskoj Kanadi, na Aljasci, u Norveškoj i Rusiji. Klasa leda potrebna je za offshore bušalice jedinice koje djeluju u tim područjima.

Trenutno je jugoistočna Azija jedno od najaktivnijih podmorja na svijetu. Malezija dominira u priobalnoj infrastrukturi regije, ali Kina, Japan i Vijetnam su također značajni igrači na terenu. Prema izvješću tržišta nafte i plina, očekuje se da će se azijsko tržište u narednih pet godina povećati za preko 50%. Malezijska nacionalna naftna kompanija *Petronas* i kineski *NOC*, *CNOOC*, važni su operatori [9].

**Tablica 1. Zemlje s najvećim dokazanim rezervama nafte [9]**

<b>ZEMLJA</b>	<b>MILIJUNI BARELA</b>
Venezuela	297,6
Saudiska Arabia	267,9
Kanada	173,1
Iran	154,6
Irak	141,4
Kuvajt	104,0
Ujedinjeni Arapski Emirati	97,8
Rusija	80,0
Libija	48,0
Nigeria	37,2

**Tablica 2. Zemlje koje proizvode najviše nafte [9]**

<b>ZEMLJA</b>	<b>TISUĆE BARELA NA DAN</b>
Saudiska Arabia	11,726
United States	11,111
Rusija	10,397
Kina	4,372
Kanada	3,856
Iran	3,589
Ujedinjeni Arapski Emirati	3,213
Irak	2,987
Meksiko	2,936

### 3. GLAVNA PRAVILA I PROPISI ZA ODOBALNE OBJEKTE

Kao svi projekti, i offshore je reguliran s velikim brojem propisa. Dizajneri brodova navikli su na propise Međunarodne pomorske organizacije (eng. *International Maritime Organization, IMO*) i konvencije o sigurnosti života na moru (eng. *International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS*) u svojim dizajnerskim projektima, ali u projektiranju na moru moraju se uzeti u obzir novi propisi. Različiti su pravila za dizajnere offshore objekata u odnosu na dizajniranje brodova.

*IMO* ima poseban vodič projektiranje na moru pod nazivom *MODU Code* (eng. *Code for Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Unit*). Odobalni objekti su se proširili po cijelom svijetu, pa postoje i razlike u dizajnu za pojedine zemlje. Nacionalni regulatori imaju standarde za materijale, opremu, sustave i strukture za naftnu industriju na moru. Nekoliko obalnih stražara ima svoj vlastiti doprinos kada je u pitanju sigurnost. Obalne straže prate pomorsku sigurnost na morima. Glavni čuvari su obalna straža *SAD-a*, kanadska obalna straža i kineska obalna straža [9].

#### 3.1. MEĐUNARODNA POMORSKA ORGANIZACIJA (IMO)

Međunarodne pomorske organizacije (eng. *International Maritime Organization, IMO*) je specijalizirana organizacija Ujedinjenih naroda koja upravlja međunarodnom pomorskom sigurnošću i sprječava zagađenje mora s brodova, sa sjedištem u Londonu i trenutno sa 171 zemljom članicom i 3 pridružene članice. Osnovana je 1948. godine u Ženevi, a počela je sa radom desetak godina kasnije, održavajući prvi sastanak 1959. godine. *IMO* je razvio i usvojio međunarodne propise i standarde za pomorce. Najvažnija offshore pravila dolaze iz *IMO-ovog SOLAS i MODU kodeksa*.

Međunarodna konvencija o sigurnosti života na moru (*SOLAS*) međunarodna je konvencija o pomorskoj sigurnosti. Glavna dužnost ugovora je reguliranje minimalnih standarda za izgradnju, opremu i rad objekata koji su u skladu s njihovom sigurnošću. *SOLAS* se smatra najvažnijim sigurnosnim ugovorom kada je riječ o trgovačkim brodovima. Države zastave odgovorne su za osiguravanje da su plovila pod njihovim zastavama kvalificirana za potrebe *SOLAS-a*. *SOLAS* je precizirao podmorje u poglavlju IX.

*MODU kodeks* (eng. *Mobile Offshore Drilling Units*) napisan je kako bi dao međunarodne standarde za pokretne offshore bušalice jedinice [9].

*MODU kodeks* iz 2009. godine predstavlja veliku reviziju kodeksa *MODU-a* iz 1989. godine, potaknut potrebom da se ažuriraju odredbe o helikopterskim postrojenjima za *MODU* nakon izmjena *ICAO-a* iz 2004. godine. Ovaj kodeks sadrži, između ostalog:

- Pojašnjenje različitih nadležnosti i mehanizama kontrole lučkih i obalnih država,
- Izmjene odredbi za istrage nezgoda,
- Nove odredbe o sredstvima pristupa i sigurnom pristupu prostorima,
- Uključivanje odredbi za sustave protiv obraštanja i upravljanje balastnim vodama,
- Pojašnjenje i dodatni zahtjevi za vrata s daljinskim upravljanjem,
- Osiguravanje dodatnih zahtjeva za dizalice,
- Novi zahtjevi za poboljšanje sigurnosni osoblja,
- Novi zahtjevi za podiznu opremu.

*MODU kodeks* iz 2009. godine pruža međunarodni standard za *MODU-e* nove gradnje koji će olakšati njihovo međunarodno kretanje i rad osigurati razinu sigurnosti takvih jedinica i osoblja na brodu, ekvivalentno standardu zahtijevanom konvencijom *SOLAS* iz 1974. godine i protokolom iz 1988. godine koji se odnosi na Međunarodnu konvenciju o teretnim linijama iz 1966. godine, za konvencionalne brodove koji su obavljali međunarodna putovanja [19]. Za pokretne offshore jedinice izgrađene prije 1. siječnja 2012. godine, još uvijek trebaju biti propisane odredbe *MODU-a* iz 1989. godine.

To će pojednostaviti međunarodno kretanje i rad struktura i osigurati odgovarajuću razinu sigurnosti građevina i osoblja na brodu, jednake onoj koju zahtijeva *SOLAS (IMO MODU Code 2009, preambula)*.

Svrha kodeksa je preporučiti projektne kriterije, građevinske standarde i druge sigurnosne mjere za pokretne morske bušilice kako bi se smanjio rizik od takvih jedinica, osobljem na brodu i okolišu [9].

### **3.2. MEĐUNARODNA UDRUGA KLASIFIKACIJSKIH DRUŠTAVA (IACS)**

Kao što je spomenuto, sve odobalne (*eng. offshore*) strukture moraju biti klasificirane od strane klasifikacijskog društva i imati registracijske potvrde o usklađenosti s propisima. Svrha *MODU* klasifikacije je provjeriti strukturalnu čvrstoću i cjelovitost trupa *MODU-a*, pouzdanost i funkcionalnost cijele opreme. Kupac odlučuje koje će se klasifikacijsko društvo koristiti. Klasifikacijska društva usko surađuju s dizajnerskim tvrtkama i vladama [9].

Međunarodna udruga klasifikacijskih društava (eng. *International Association of Classification Societies, IACS*) ima dvanaest ravnopravnih društava, a članovi su:

- American Bureau of Shipping (*ABS*),
- Bureau Veritas (*BV*),
- China Classification of Shipping (*CCS*),
- The Croatian Register of Shipping (*CRS*),
- Det Norske Veritas-Germanischer Lloyd (*DNV/GL*),
- Indian Register of Shipping (*IRS*),
- Korean Register of Shipping (*KRS*)
- Lloyd's Register (*LR*)
- Nippon Kaiji Kyokai (*NK*),
- Polish Register of Shipping (*PRS*),
- Registro Italiano Navale (*RINA*),
- Russian Maritime Register of Shipping (*RS*),
- Nippon Kaiji Kyokai (*ClassNK*).

Međutim, osnovna društva su *American Bureau of Shipping* biro, *Det Norske Veritas-Germanischer Lloyd* i *Lloyd-ov* registar otpreme. Vrlo je rijetko vidjeti *MODU* koji nije klasificirani ni u jedno od ova tri osnovna društva [9].

### **3.3. STANDARDI, KODEKSI I PROPISI OBALNIH VLASTI**

Obalne straže moraju se uzeti u obzir jer su snažan donositelj odluka u međunarodnim pomorskim stvarima. Oni su zaduženi za nacionalnu pomorsku sigurnost i sigurnost općenito. Prema zakonu imaju sljedeće dužnosti (*Sjedinjene Države obalna straža 2014*).

- Luke, plovni putovi i obalna sigurnost,
- Zabranjivanje droga,
- Pomoć u navigaciji,
- Potraga i spašavanje,
- Živi morski resursi,
- Sigurnost u moru,
- Obrambena spremnost,
- Zabranjivanje migracija,

- Žaštita morskog okoliša,
- Ledene operacije,
- Druge primjena zakona.

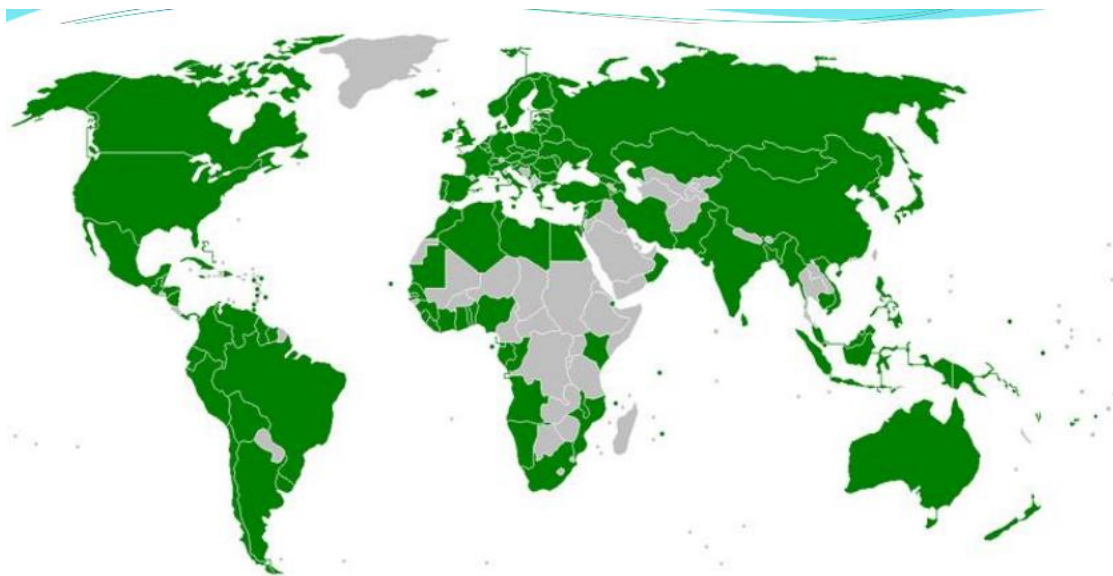
Državna obalna straža mora dati dozvolu za upotrebu plovila na svom području. Ako odobrenje nije dano, plovilo se mora izmijeniti ili mora raditi negdje drugdje [9].

### **3.4. MEĐUNARODNA KONVENCIJA O SPRJEČAVANJU ONEČIŠĆENJA MORA S BRODOVA - POGLAVLJE 7 (PRILOG 39.)**

Međunarodna konferencija o zagađenju mora (eng. *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL*) održana je 1973. godine u Londonu pod vodstvom *IMO-a* (eng. *International maritime organisation*) Međunarodne pomorske organizacije koja prihvaća međunarodnu konvenciju o sprječavanju zagađenja s brodova. *MARPOL* konvencija predstavlja najtemeljitiji i najpotpuniji međunarodni spis o sprječavanju zagađenja i onečišćenja mora i morskog okoliša prouzročenog namjernim ili slučajnim ispuštanjem ulja i drugih štetnih tvari s odobalnih objekata. Konvencija donesena 1973. godine nastavak je tada važeće konvencije *OILPOL* (donesene u Londonu 1954. godine). U početku je bio samo jedan amandman *MARPOL* konvencije ali tijekom vremena uslijed porasta ekoloških ugroza dodavali su se novi amandmani i proširivali postojeći. Poboljšavanje konvencije odvija se konstantno od njezina donošanja na način da:

- Već doneseni prilozi stupaju na snagu,
- Donose se novi prilozi,
- Donose se amandmani na postojeće priloge i na taj način se poboljšavaju.

Slika 9. predstavlja sve zemlje svijeta koje su implementirale zadane stavke i koje su postale članicom *MARPOL-a*.



**Slika 9. Karta svijeta s prikazom zemalja potpisnica *MARPOL* konvencije [20]**

Pravilo 39.

Posebni zahtjevi za fiksne i plutajuće platforme:

1. Ovo pravilo primjenjuje se na fiksne ili plutajuće platforme, uključujući platforme za bušenje, plutajuća sredstva za proizvodnju, skladištenje i iskrcavanje *FPSOs* (eng. *Floating production, storage and offloading facilities*), koja se koriste za odobalnu proizvodnju i skladištenje ulja i plutajuće skladišne jedinice za odobalno skladištenje proizvedenog ulja *FSUs* (eng. *Floating storage units*).

2. Fiksne i plutajuće platforme, kada obavljaju istraživanje, iskorištavanje i s njima povezane postupke s mineralnim izvorima s morskog dna te druge platforme moraju udovoljavati zahtjevima ovog priloga koji se primjenjuju na brodove od 400 bruto tonaže i veće koji nisu tankeri za ulje, osim što:

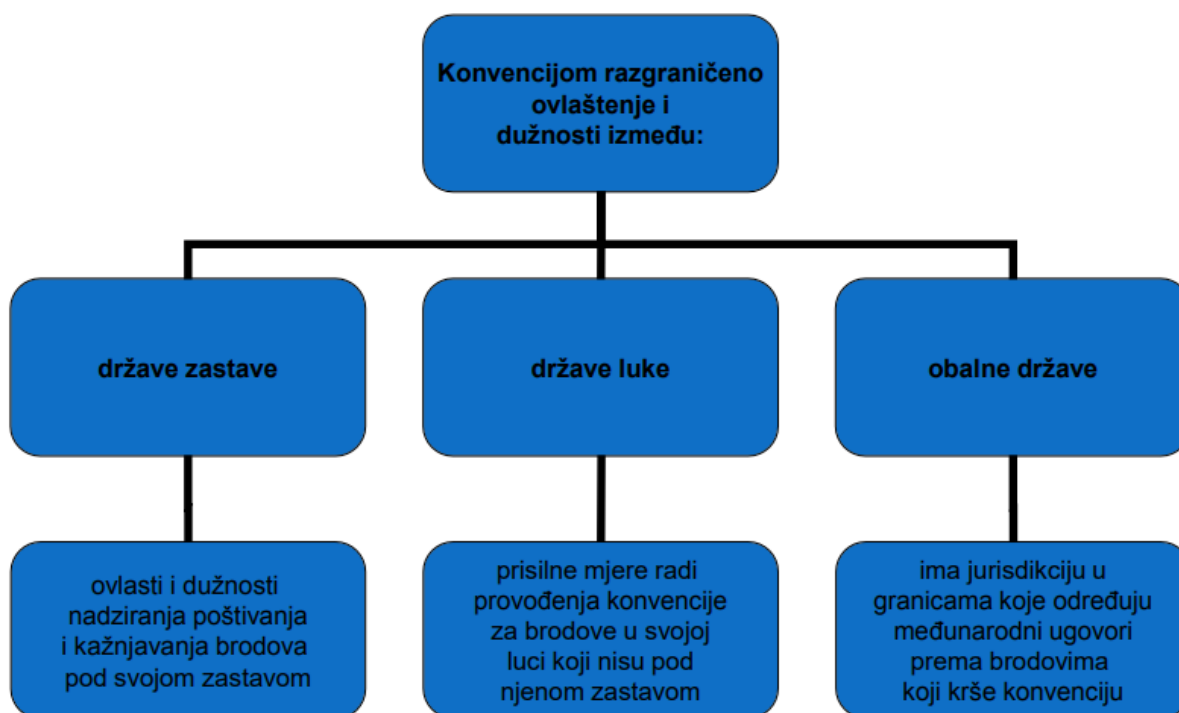
2.1. Moraju biti opremljene, koliko je god moguće, uređajima koje zahtijevaju pravila 12. i 14. ovog Priloga,

2.2. Moraju voditi bilješke o svim radnjama u vezi s ispuštanjem ulja ili mješavine ulja, u obliku koji je odobrila Uprava,

2.3. Pridržavajući se odredaba pravila 4. ovog Priloga, ispuštanje u more ulja ili mješavine ulja bit će zabranjeno, osim ako sadržaj ulja u ispustu bez razrjeđivanja ne prelazi 15 dijelova na milijun [20].

3. Pri provjeri udovoljavaju li platforme koje posluju kao *FPSO* ili *FSU* ovom prilogu, Uprave moraju, pored zahtjeva točke 2. uzeti u obzir i Smjernice koje je usvojila Organizacija.

Sva ova pravila i propise treba provoditi ovlaštena organizacija, kako je prikazano na slici 10. koja se dijeli na: državu zastave, državu luke i obalnu državu.



**Slika 10. Ovlaštenja i dužnosti prilikom provođenja *MARPOL* konvencije [9]**

Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja s brodova, izmijenjena protokolom iz 1978. (*Konvencija MARPOL 73/78*) proširuje opseg primjene svojih odredbi na fiksne ili plutajuće platforme i zahtijeva: da imaju spremnike za ostatke nafte te da trebaju voditi evidenciju svih operacija dopuštenih pražnjenja, drugim riječima onih s razrjeđivanjem nafte koje ne prelazi 15 dijelova na milijun.

Međunarodna konvencija o pripremi, reakciji i suradnji zagađenja naftom (*OPRC*) u sklopu *MARPOL-a* određuje akcije koje treba poduzeti nakon pojave ispuštanja ili istjecanja nafte, koja zahtijeva da operatori offshore jedinice imaju planove za slučaj nužde u slučaju zagađenja nafte i odmah obavijestiti vlasti o svim incidentima ispuštanja proizvedenim u tim objektima [9].



## **4. PROJEKTNI ZAHTJEVI ZA IZGRADNJU NAFTNE PLATFORME**

Projektne zahtjevi i pravila za izgradnju naftne platforme su namijenjena projektantima fiksnih pučinskih objekata kao vodič prilikom projektiranja novih objekata ili prenamjeni već postojećih platformi korištenih za bušenje, crpljenje, proizvodnju i skladištenje. Pravila objedinjuju sve zahtjeve i kriterije od proizvodnih do okolišnih opterećenja koja bi mogla utjecati na projekt platforme [4].

### **4.1. PROJEKTNI KRITERIJI I PRINCIPI**

U projektne kriterije ulaze i nepromjenjiva opterećenja ubrajaju se sve težine koje se ne mijenjaju ovisno o vrsti operacije koja se provodi na platformi. U nepromjenjiva opterećenja treba uključiti:

- Težinu strukture platforme koja se nalazi u zraku, uključujući težinu stupova, taloga i balasta,
- Težinu opreme i dodatne pomoćne strukture montirane na platformu,
- Hidrostatičke sile koje djeluju na strukturu ispod mirne razine vodene površine uključujući vanjski tlak i uzgon.

Osim nepromjenjivih opterećenja vrlo značajna opterećenja za sustav su promjenjiva opterećenja koja su sva opterećenja kojima je platforma izložena tijekom svoje upotrebe a koja se mogu mijenjati bilo tijekom jedne faze proizvodnje ili prilikom izvođenja različitih proizvodnih operacija.

U promjenjiva opterećenja treba uključiti:

- Težinu opreme za bušenje i proizvodnju koja se može dodati ili skinuti s platforme,
- Težine nastambe, opreme za spašavanje, težinu heliodroma, opreme za ronjenje te sve ostale opreme koja se može naknadno dodavati ili smanjivati ovisno o operaciji,
- Težine potrošnih namirnica i tekućina u skladišnim tankovima,
- Sile narinute na strukturu prilikom operacija kao što su bušenje bušotina, rukovanje materijalima, sidrenje opskrbnih brodova i slijetanja helikoptera,
- Sile na strukturu uzrokovane korištenjem palubne dizalice. Ove sile se razmatraju i zbog gibanja samog tereta i zbog same njegove težine.

Uz sve ovo u projektne kriterije ulaze i okolišna opterećenja koja su opterećenja na platformu uzrokovana prirodnim fenomenima kao što su vjetar, valovi, morske struje, potresi, snijeg, led. U okolišna opterećenja ubrajamo i promjene hidrostatskog tlaka i uzgona na elemente uzrokovane promjenom vodene razine zbog plime i valova. Djelovanje ovih opterećenja treba pretpostaviti iz svih smjerova osim ako ne postoje znanstvena mjerenja ili ranija iskustva koja bi rezultirala razumnijim pretpostavkama.

Projektni kriteriji uzimaju u obzir i opterećenja tijekom gradnje konstrukcije rezultat su izrade, zaostalih naprezanja, transporta i postavljanja na željenu lokaciju. Uz prije navedena opterećenja prilikom same izgradnje platforme, u slučaju premještanja platforme na novu lokaciju, potrebno je voditi računa i o opterećenjima koja se pri tom javljaju, a to su opterećenja zbog razmontiranja same platforme, postavljanja na baržu ili brod za prijevoz teških tereta, transporta te ponovnog montiranja na novoj lokaciji.

Dinamička opterećenja također uključuju sva opterećenja cikličke prirode ili su rezultat udara na konstrukciju. Valovi, vjetar potres i rad strojeva najčešći su uzročnici dinamičkih opterećenja, dok udarno opterećenje može biti posljedica sudara barže ili broda o platformu [4].

## **4.2. RAZINE OPTEREĆENJA NAFTNE PLATFORME**

Okolišna opterećenja su sve sile narinute na platformu prema odabranom projektnom slučaju. Ovisno da li se analiziraju operativna svojstva platforme u normalnim vremenskim uvjetima ili sigurnost platforme u ekstremnim vremenskim uvjetima, razlikujemo dvije različite razine opterećenja. Razlikujemo operativnu razinu okolišnih opterećenja koja su manjeg intenziteta te ne predstavljaju prijetnju izvršavanju projektnih zadataka platforme, te projektnu razinu (*stanje*) opterećenja kojima se u obzir uzimaju najgore moguće kombinacije opterećenja koje rezultiraju i kritičnim naprežanjima strukture. Upravo projektna razina opterećenja bi se trebala uzeti u obzir prilikom osnivanja i analiziranja strukture platforme. Projektna opterećenja bi u obzir trebala uzeti okolišna opterećenja u kombinaciji sa opterećenjima od vlastite težine i promjenjivih opterećenja na sljedeći način [4]:

- Operativna okolišna opterećenja u kombinaciji sa opterećenjima od vlastite težine i najvećih mogućih promjenjivih opterećenja u skladu sa normalnim radnim uvjetima platforme,

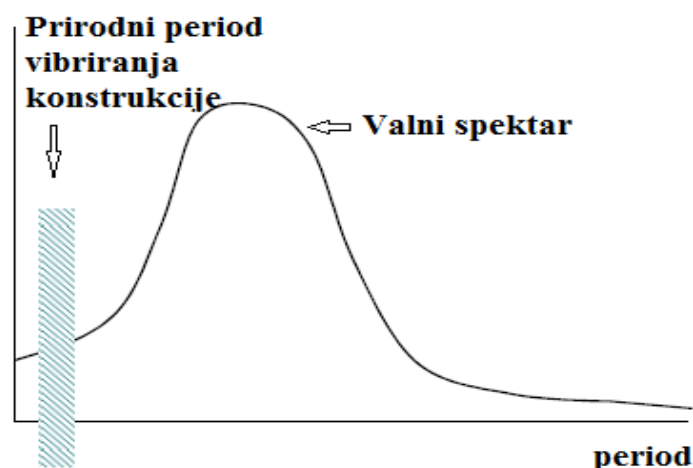
- Operativna okolišna opterećenja u kombinaciji sa opterećenjima od vlastite težine i najmanjih mogućih promjenjivih opterećenja u skladu sa normalnim radnim uvjetima platforme,
- Projektna okolišna opterećenja u kombinaciji sa opterećenjima od vlastite težine i najvećih mogućih promjenjivih opterećenja u skladu sa ekstremnim vremenskim uvjetima.

Okolišna opterećenja, izuzev potresa, trebala bi se kombinirati na način koji je u skladu sa vjerojatnošću njihovog istodobnog pojavljivanja prilikom proučavanja određenog slučaja opterećenja. Odnosno nije moguće da se valovi najveće značajne visine pojavljuju istodobno sa najvećom brzinom vjetra iz dva međusobno suprotna smjera nailaska. Potresno opterećenje bi se trebalo proučavati kao zasebno opterećenje na konstrukciju bez kombinacije sa ostalim okolišnim opterećenjima.

Operativni okolišni uvjeti i opterećenja bi trebali predstavljati relativno opasne uvjete za platformu, nije predviđeno da nužno predstavljaju kritičnu razinu opterećenja prilikom čijeg prelaska platforma više ne može normalno obavljati svoje zadatke. Za ovu razinu opterećenja preporuča se kao povratni period od 1 do 5 godina. Sve težine i opterećenja zbog podizanja teških tereta palubnom dizalicom treba provjeriti na način da rezultiraju najvećim naprezanjima dijelova strukture platforme. Također i u slučaju povremenih opterećenja prilikom izrade, transporta, postavljanja ili rastavljanja strukture treba provjeriti u kombinaciji sa okolišnim opterećenjima i prikladnim vlastitim težinama [4].

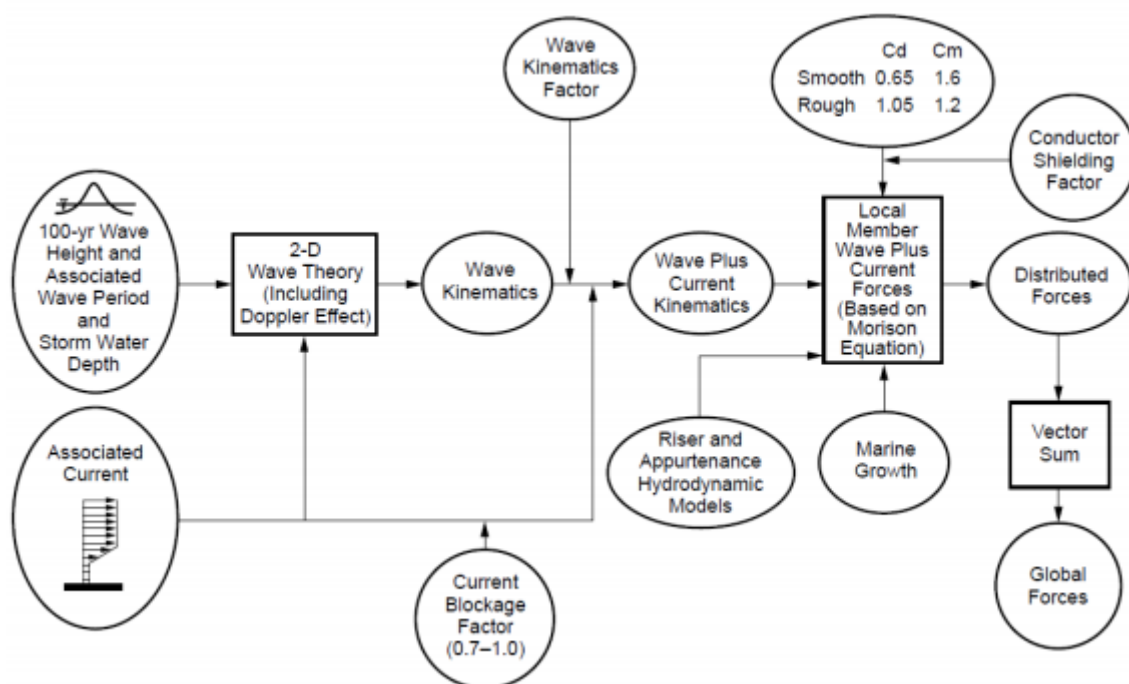
#### **4.3. PROJEKTNJA OPTEREĆENJA VALOVA, VJETRA I MORSKIH STRUJA NA NAFTNU PLATFORMU**

Opterećenja uzrokovana valovima su dinamičke prirode ali za većinu projektnih dubina koje se trenutačno susreću, opterećenja valova je moguće adekvatno zamijeniti i njihovim statičkim ekvivalentima. Za velike projektne dubine ili fleksibilnije platforme statička analiza možda neće prikladno zamijeniti dinamičke pojave i sile na konstrukciju [4]. Slika 11. vidljiv je prikaz valnog perioda i prirodnog perioda vibriranja konstrukcije uzrokovanog dinamičkim opterećenjem.



Slika 11. Prikaz valnog perioda i prirodnog perioda vibriranja konstrukcije [4]

Za takve platforme preporuča se korištenje dinamičke analize za provjeru strukture. Platforme se izlažu projektnom valu uz zanemarivanje dinamičkog odziva platforme i difrakcije nailaznog vala. Metoda projektnog vala za zadani smjer napredovanja vala započinje određivanjem značajki vala kao što su visina vala i valni period, projektne dubine mora i profila morske struje. Vrijednosti ovih parametara određuju se oceanografskim ispitivanjima i mjerenjima na zadanoj lokaciji. Potrebne korake za izračunavanje sile vala i morske struje potrebne za provedbu statičke analize prikazuje slika 12.



Slika 12. Procedura proračuna sile vala i morske struje za statičku analizu [4]

Postupak proračuna sile vala:

- Određuju se prividni valni period, koji uzima *Dopplerov efekt* morske struje na val,
- Određuje se dvodimenzionalna kinematika vala iz prikladne valne teorije za određenu valnu visinu, dubinu i prividni valni period,
- Horizontalne komponente brzine i ubrzanja čestice vala su umanjene kinematskim faktorom koji uzima u obzir širenje vala,
- Efektivni lokalni profil morske struje je određen množenjem profila morske struje sa koeficijentom zaklanjanja morske struje,
- Efektivni lokalni profil morske struje vektorski se kombinira sa kinematikom vala da bi se odredile lokalne brzine i ubrzavanja fluida, za daljnje uvrštavanje u *Morisonovu jednadžbu*,
- Dimenzije elemenata strukture se povećavaju zbog obraštanja,
- Koeficijent otpora i inercije se određuju kao funkcije parametara vala i morske struje, te geometrije, hrapavosti, dimenzija i orijentacije elemenata strukture,
- Prilikom proračunavanja sile vala u obzir se uzima i koeficijent zaklanjanja konduktorskih (*provodnih*) cijevi,
- Razvija se hidrodinamički model za podizače i dodatke ne strukturu (*cink protektori*),
- Morisonovom jednadžbom odrede se lokalne sile valova i morske struje za sve elemente platforme, konduktorske cijevi, podizače i dodatke,
- Globalna sila se izračunava kao vektorski zbroj svih lokalnih sila.

Sile uzrokovane vjetrom naprežu gornji dio strukture platforme koji se nalazi iznad razine vodene površine, kao i cjelokupne opreme, palubnih nastambi i dizalica koje se nalaze na platformi. Brzina vjetra može se klasificirati kao:

- Udari vjetra prosječnog trajanja kraće od minute,
- Stalna brzina vjetra trajanja duže od minute.

Podaci o brzini vjetra moraju biti u skladu sa standardnom visinom mjerenja od 10 m iznad prosječne razine vodene površine. Kao i opterećenja valova, tako su i opterećenja uzrokovana vjetrom dinamičke prirode, ali neke strukture na njih relativno statički reagiraju. Za uobičajene rešetkaste fiksne naftne platforme u relativno plitkom moru, vjetar se uglavnom uzima kao manje bitan čimbenik u globalnom opterećenju na strukturu (*u pravilu manje od 10 %*). Prilikom analiziranja globalnih opterećenja na strukturu platforme uzrokovanih vjetrom treba se koristiti podatak o stalnoj brzini vjetra, dok se za pojedinačne elemente strukture kao relevantni podatak treba koristiti brzina udara vjetra [4].

Za fleksibilne konstrukcije koje su postavljene na većim dubinama, opterećenja od vjetra mogu igrati značajniju ulogu te bi im se trebalo detaljnije posvetiti. Dinamička analiza je obavezna ako se pokaže da polje vjetrova sadrži energiju na frekvenciji blizu prirodnih frekvencija platforme. Sila otpora na objekt uzrokovana vjetrom računa se [4] :

$$F = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho_z\right) \cdot u^2 \cdot C_s \cdot A \quad (1)$$

Gdje je:

$\rho_z$  - gustoća zraka [ $\text{t/m}^3$ ],

$u$  - brzina vjetra [ $\text{m/s}$ ],

$C_s$  - koeficijent oblika,

$A$  - površina objekta [ $\text{m}^2$ ].

Ukupna vrijednost brzine morske struje je vektorski zbroj brzina plime i oseke, morskih struja uzrokovanih olujama i kružnim morskim strujama poput Golfske struje. Njihov relativni odnos i značaj za izračunavanje opterećenja, zavisi o lokaciji pučinskog objekta. Struje uzrokovane plimom i osekom su u dubljim morima praktički zanemarive, njihova vrijednost je nešto veća na širokim i plitkim morskim dnima, dok se na strmom dnu njihov utjecaj značajno smanjuje. Kružne morske struje su relativno nepromjenjive i promatraju se na razini oceana. Primjer takve morske struje je Golfska struja u Atlantskom Oceanu. Morske struje uzrokovane olujnim vremenom zapravo su rezultat puhanja snažnih vjetrova te gradijentom atmosferskog tlaka koje vlada tijekom oluje. Brzine olujnih morskih struja su vrlo kompleksne funkcije jačine oluje, meteoroloških karakteristika, konfiguracije obale ako postoji i gustoće samog mora. U dubokim morima na otvorenim prostranstvima površinska brzina olujne morske struje može se grubo odrediti kao 2-3 % stalne brzine puhanja vjetra trajanja jednog sata. Treba imati na umu da što je lokacija platforme bliže obali i plićim morima ove se vrijednosti mogu značajno povećati. Prilikom određivanja profila morske struje te mijenjanja određenih brzina ovisno o smjeru i dubini, trebalo bi kontaktirati kvalificiranog oceanografa. Kako je ranije objašnjeno treba vektorski superponirati vrijednosti brzina vjetra i valova prije računanja sila koristeći Morisonovu jednadžbu [4].

## 5. KONSTRUKCIJA NAFTNIH PLATFORMI I NJIHOVA PODJELA

Naftna platforma ime je za veliku strukturu koja služi za istraživanje, crpljenje, preradu i/ili privremeno spremanje nafte i zemnog plina koja zavisno o prilikama se obično učvrštava na dno nekog tijela vode (*jezera, mora ili oceana*) i tako stvara umjetni otok. Ako ovo nije moguće naftna platforma pluta i održava svoje ustaljeno mjesto rabeći sidra, pupčane cijevi, kao i potisak iz pogonskih motora.

Prve naftne platforme izgrađene su krajem 19. stoljeća u SAD-u. Mnoge naftne platforme sadržavat će i objekte za prihvrat njihove radne snage. Naftne platforme najčešće sudjeluju u aktivnostima na kontinentalnom pojasu, mada se također mogu koristiti u jezerima, obalnim vodama i unutarnjim morima. Udaljeni podmorski bunari mogu se također povezati s platformom protočnim linijama i umbilikalnim vezama. Ova podmorska rješenja mogu se sastojati od jednog ili više podmorskih izvora ili jednog ili više središta za više izvora. Offshore bušenje predstavlja izazove okoline, od proizvedenih ugljikovodika i materijala koji su korišteni tijekom bušenja. Postoji mnogo različitih vrsta objekata iz kojih se odvijaju operacije bušenja na moru. Tu se ubrajaju bušilice sa dnom (*temeljne teglenice i močvarne barže*), kombinirani postrojenja za bušenje i proizvodnju ili s donje utemeljenim ili plutajućim platformama i dubokovodne pokretne morske bušilice (*MODU*), uključujući polupodmornice i bušilice. Oni mogu raditi u vodenoj dubini do 3000 m. U plitkim vodama mobilne jedinice su usidrene na morskom dnu, dok se u dubljim vodama (*više od 1500 m*) polupodmornice ili bušilice održavaju na potrebnom mjestu bušenja koristeći dinamičko pozicioniranje. Na slici 13. prikazana je jedna od vrsta naftnih platformi [18].



**Slika 13. Prikaz naftne platforme [18]**

Odobalna proizvodnja nafte i plina odvija se uglavnom površinskim sustavom proizvodnje pomoću proizvodnih platformi.

Platforme u pogonu mogu biti:

- Fiksne - učvršćene ili oslonjene za morsko dno,
- Pomične - (*pričvršćene su za dno sidrenim lancima, cijevima ili se dinamički pozicioniraju*), a koriste se za veće dubine i mogu se premještati.

Na izbor tipa i veličinu platformi utječe:

- Dubina mora,
- Uvjeti dna i meteorološki faktori (*opterećenje valova*),
- Veličina ležišta i broj bušotina.

Naftne platforme ovisno o području u kojem vrše svoju funkciju zahtijevaju različite konstrukcijske oblike koje se dijele na fiksne i pomične:

Fiksne poduprte naftne platforme dijele se na:

- Konvencionalne fiksne platforme,
- Platforme s fleksibilnim tornjem,
- Poduprtim čeličnim nogama (*eng. Jack up*),
- Gravitacijskim betonskim postoljima,
- Čeličnim šipovima (*eng. Steel Template Jacket*),

Fiksne naftne platforme sastoje od dva osnovna dijela:

- Nadgrađa,
- Postolja.

Pomične naftne platforme dijele se na:

- Poluuronjive platforme (*eng. semi-submersible*),
- Plutajući pogon za proizvodnju, skladištenje i istovar,
- Platforme s nategom u nogama,
- Mini platforme s nategom u nogama,
- Spar platforme [18].

Prema namjeni razlikuju se dva osnovna tipa platformi:

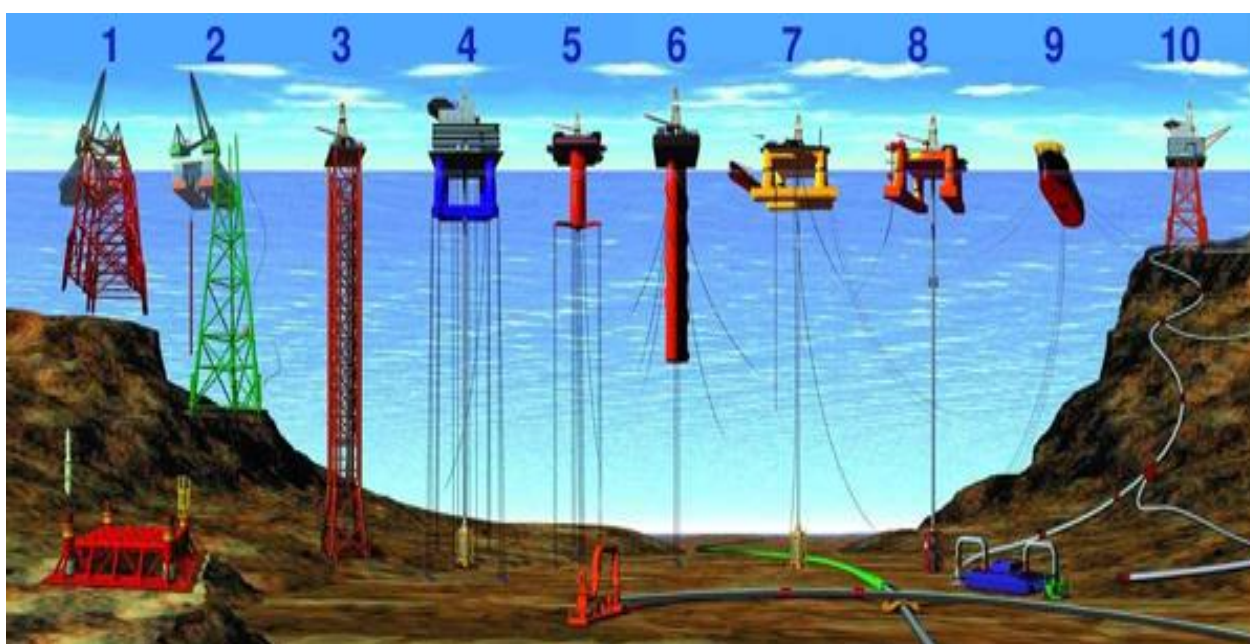
- Bušaća platforma za izradbu istražnih ili razradnih bušotina,
- Proizvodna platforma.



Proizvodna platforma služi za crpenje nafte ili plina iz bušotine i u načelu je vezana za mjesto proizvodnje. Može biti samo proizvodna ili platforma s koje se obavljaju razradna bušenja i proizvodnja. Četiri su karakteristična tipa proizvodnih platformi:

- Nepomična (*fiksna*) čelična,
- Nepomična gravitacijska,
- Plutajuća sa zategnutim kracima,
- Platforma fleksibilno pričvršćena za morsko dno.

Na slici 14. prikazane su sve najbitnije vrste naftnih platformi koje se mogu pronaći primjenjene u dubokim i plitkim vodama.



**Slika 14. Prikaz različitih tipova odobalnih naftnih platformi [18]**

Ova slika prikazuje 10 vrsta odobalnih naftnih platformi od kojih su [18]:

- 1., 2. i 10. Konvencionalne fiksne platforme (*eng. conventional fixed platform*),
- 3. Rešetkasta platforma s fleksibilnim tornjem (*eng. compliant tower*),
- 4. i 5. Okomito privezana zatezna noga i mini-napeta platforma za noge (*eng. vertically moored tension leg and mini-tension leg platform*),
- 6. Spar platforma,
- 7. i 8. Poluuronjena naftna platforma (*eng. semi-submersibles*),
- 9. FPSO postrojenje (*eng. floating production, storage, and offloading facility*).

## 5.1. FIKSNE NAFTNE PLATFORME

Fiksna poduprta platforma (*samopodizna i uronjiva*), koja je tijekom normalnog rada poduprta o dno, a jedino ju tijekom premještanja s jedne lokacije na drugu na površini održava uzgon.

Ova vrsta platformi izgrađena je od betonskih ili čeličnih nogu koje nose konstrukciju, usidreni direktno na morsko dno, podupirući palubu s prostorom za bušenje, proizvodnim pogonima i prostorijama za posadu. Takve su platforme, zahvaljujući svojoj nepokretnosti, dizajnirane za dugoročnu uporabu. Koriste se različite vrste konstrukcija, može se pronaći čak i plutajući beton. Ovaj tip platformi je najčešće izrađen od strukturnih odjeljaka napravljenih od cjevastih čeličnih elemenata i obično se gomilaju u morsko dno.

Kada se dotegli na proizvodnu lokaciju, noge i spremnici pune se balastom, tako da vlastitom težinom uranja u morsko dno. Najpoznatije su i najveće takve platforme *Statfjord B* i *Troll* na Sjevernome moru [18].

Fiksne platforme ekonomski su izvedive za ugradnju u dubinama vode do oko 520 m i ne mogu se premještat. Najčešće izvedbe fiksnih platformi su:

- Čeličnim šipkama (*eng. Steel Template Jacket*),
- Gravitacijskim betonskim postoljima,
- Fleksibilnim tornjem (*eng. Compliant type, BT Tower*),
- Poduprtim čeličnim nogama (*eng. Jack up*).

Jack up je dominantan tip platformi za gotovo sva mora izuzev leda. Sastoje od dva osnovna dijela:

- Nadgrađa,
- Postolja.

Donji dio nadgrađa mora se nalaziti iznad vrha najvećeg mogućeg vala predviđeno za period od 100 godina. Na nadgrađu se nalazi:

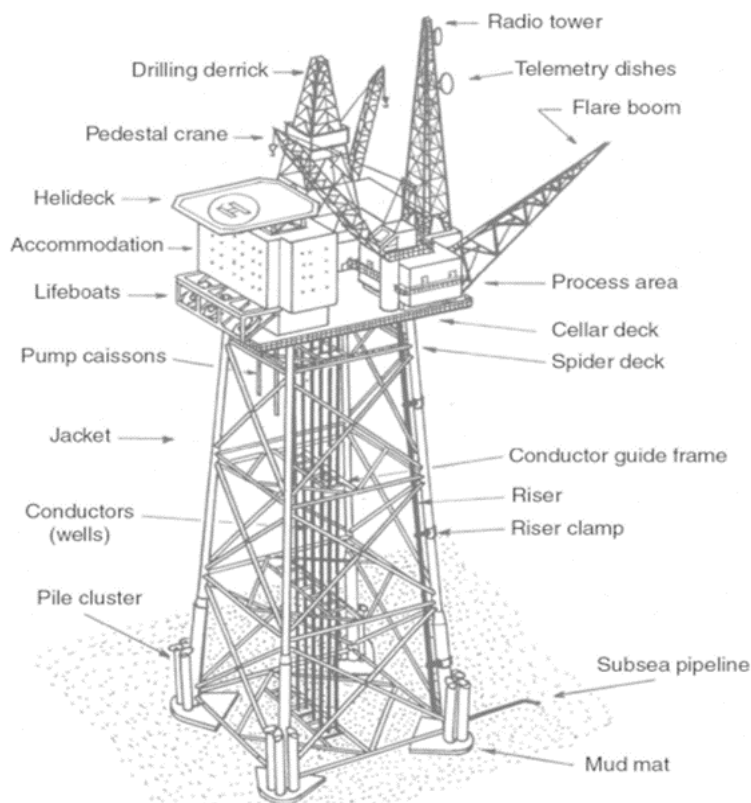
- Uređaj za bušenje,
- Uređaj za crpljenje i obradu nafte/plina,
- Ostali uređaji za život na platformi.

Postrojenje za bušenje i većina ostalih uređaja smještena je na palubi platforme. S obzirom da cijena platforme raste s povećanjem njene površine, česte su platforme s više paluba .

### 5.1.1. Konvencionalne fiksne platforme

Nepomična čelična platforma prevladavajući je tip proizvodne platforme. Čeličnim cijevnim rešetkastim postoljem čvrsto je vezana za morsko dno s pomoću pilota. Uz proizvodna postrojenja opremljena je i uređajima za bušenje na veće dubine.

Konvencionalne fiksne platforme izrađene od čeličnih nosača, danas jedna od najčešćih vrsta građevine na moru. Konstrukcija raspoređuje aksijalno opterećenje s palube, tlačni i zatezni teret od momenta prevrtanja proizvedenog od bočnih valnih opterećenja. Konstrukcija također daje dodatnu čvrstoću cjevastim spojevima gdje su vodoravne i dijagonalne spojnice zavarene na noge. Na slici 15. imamo prikaz konstrukcijskih elemenata konvencionalne fiksne platforme.



**Slika 15. Konvencionalna fiksna odobalna platforma od čeličnih nosača [22]**

Čelične konstrukcije uključuju tradicionalne cilindrične košuljice profila s podignutim nogama od vrha do dna, razmak nogu košuljica profila mijenja se od vrha do morskog dna.

Fiksne platforme koriste čelične snopove koje se postavljaju u morsko dno kako bi ih se učvrstilo na mjestu. Tisuće profila čeličnih košuljica ugrađeni su u vodi. Na slici 15. uočavamo glavne elemente fiksna odobalna platforma kao što su [21]:

- Dizalice za bušenje (*eng. drilling derick*),
- Dizalica za postolje (*eng. pedestal crain*),
- Helikopterska paluba (*eng. helideck*),
- Prostorija za razonodu zaposlenika (*eng. accomodation room*),
- Brodovi za spašavanje (*eng. lifeboats*),
- Radio toranj (*eng. radiotower*),
- Sagorijevač plina koji se ne može sigurno sakupljati (*eng. flareboom*),
- Košuljica cilindričnog profila (*eng. jacket*),
- Vodilice bunara (*eng. conductors wells*),
- Čelični snopovi (*eng. pile cluser*),
- Podizač (*eng. riser*),
- Stezaljka (*eng. riser clamp*),
- Podvodni cjevovod (*eng. subsea pipeline*),
- Prostirka za blato (*eng. mud mat*).

Čelične cinindrične košuljice su vertikalni presjeci napravljeni od cjevastih čeličnih elemenata i obično se guraju u morsko dno. Cinindrične košuljice je čelična konstrukcija za obalnu instalaciju. To je složena konstrukcija, a projektiranje oduzima nekoliko mjeseci inženjerskog rada, 3D modeliranja, računanja, dizajna i metoda rada [22].

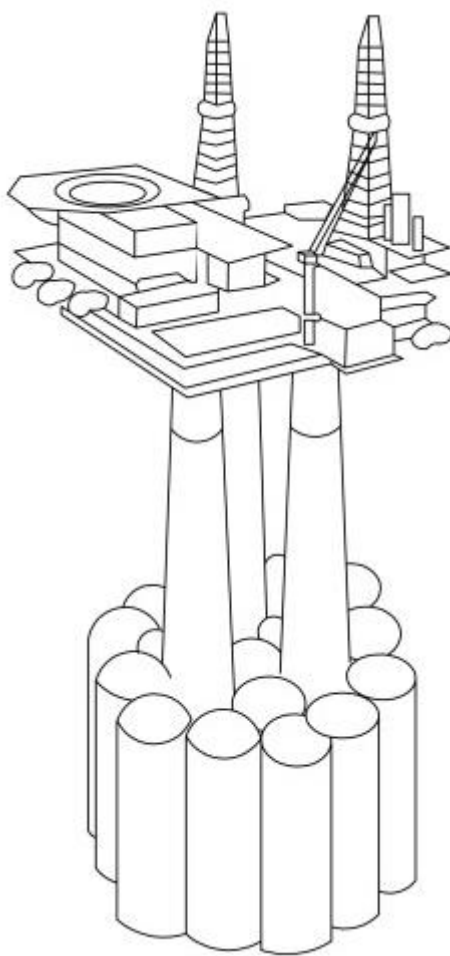
Platforme građene od čelične cinindrične košuljice jedna su od najčešće korištenih fiksnih vrsta platforme, oko 95% platformi na moru u svijetu koristi ovaj tip platformi. Platforma je podržana čeličnim okvirom koji se sastoji od konstrukcije nosača ploča ili palubne rešetke potpomognute zavarenim cijevima koje su nagomilane na morskim dnom.

Bočna valna opterećenja koja stvaraju trenutke visokog smicanja i prevrtanja snažno utječu na dizajn dubokovodnih čeličnih nosača. To daje novu dimenziju postupku instalacije.

Obalna građevina prikazana na slici 15. moderan je primjer konstrukcije dizajnirane za rad u vodi. Konstrukcija se najprije postavlja na morsko dno, a temeljni snopovi se provlače kroz čahure i grupiraju kako bi tvorile sustav za potporu konstrukcije. Često je potrebno samo osigurati snop kroz noge, ovisno o okolišu i karakteristikama tla. U tim slučajevima, snopovi su ili grupirane ili zavarene kako bi povezale konstrukciju i omogućile prenošenje tereta.

### 5.1.2. Gravitacijske fiksne platforme

Gravitacijske fiksne platforme sastoje se od čelične palube i betonskog okvira, kao i čeličnog temelja. Gravitacijske platforme se izrađuju za dubine vode do 300 m u vodama s nepogodnim vremenskim uvjetima. Izgrađeni su u uspravnom položaju, izvlače se na mjesto za bušenje na moru i postavljaju balastiranjem, gdje se teška tvar upotrebljava za postizanje stabilnosti plutanja. Ovaj tip platformi je isplativa opcija jer se konstrukcija može povući i na drugo mjesto [22]. Gravitacijski platforma prikazana je na Slici 16.



**Slika 16. Prikaz gravitacijske fiksne platforme [22]**

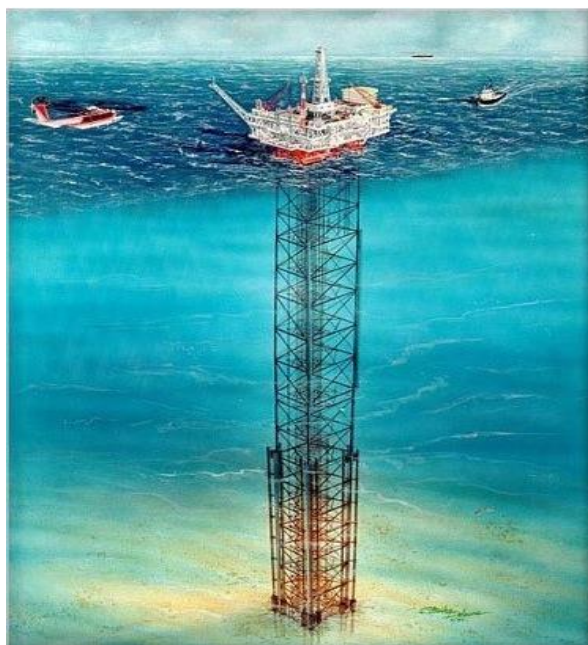
Zahtjevi za kvalitetu betona ovog tipa platformi su date u propisima i kodovima i bitno je da posjeduju kao što slijedi:

- Visokokvalitetni materijali,
- Tlačnu čvrstoću betona najmanje 40 MPa,
- Maksimalni omjer vode/cement od 0,45.

### 5.1.3. Platforma s fleksibilnim tornjem

Odobalna naftna platforma s fleksibilnim tornjem (*eng. Compliant type; BT Tower*) se sastoji od uskih, fleksibilnih tornjeva i stupa koji je temeljni podupirač koji podržava uobičajenu palubu za bušenje i proizvodnju. Ove platforme dizajnirane su za održavanje značajnih bočnih progiba i sila, a obično se koriste u vodama dubine (450 m do 900 m). Ovaj tip platformi je izuzetan inženjerski poduhvat. Nazivaju ih još kompatibilnim jer mogu lutati i pratiti gibanje oceana. Prikladna su za područja koja su izložena uraganima, kao što je *Meksički zaljev*.

Upotrebom fleksibilnih elemenata, kao što su fleksibilne noge ili aksijalne cijevi, smanjuje se rezonanca i pojačavaju se valne sile. Ova vrsta konstrukcije sustava može se konfigurirati tako da se prilagodi postojećoj proizvodnji i instalacijskoj opremi. Ovaj tip odobalnih naftnih platformi na dubinama većim od 1000 m zbog troškova izgradnja postaje neekonomična. U takvom je slučaju prikladniji plutajući proizvodni sustav, čak i uz povećane troškove. Zbog svoje fleksibilnosti, kompaktni sustav tornja dovoljno je jak da može podnijeti uvjete uragana. Ovaj tip odobalne naftne platforme sastoji se od uskog, fleksibilnog tornja i temelja koji može podržati konvencionalnu palubu za operacije bušenja i proizvodnje. Za razliku od fiksne platforme, usklađeni toranj izdržava velike bočne sile održavanjem značajnih bočnih odstupanja. Mogu se kretati bočno kako bi vršile svoju funkciju usprkos velikim oceanskim valovima. Prvi toranj nastao je početkom 1980-ih s ugradnjom *Exxonove naftne platforme Lena*. Na slici 17. vidi se konstrukcijski prikaz ovog tipa naftne platforme [6].



**Slika 17. Prikaz odobalna naftna platforma s fleksibilnim tornjem [6]**

Platforma s fleksibilnim tornjem može se podijeliti u četiri osnovne strukturne komponente:

- Temeljni nosači snopa konstrukcije,
- Osnovni odjeljak,
- Odjeljak tornja - ovisno o dubini vode i prijevoznih sredstava, toranj se može napraviti od jednog ili više odjeljaka,
- Paluba.

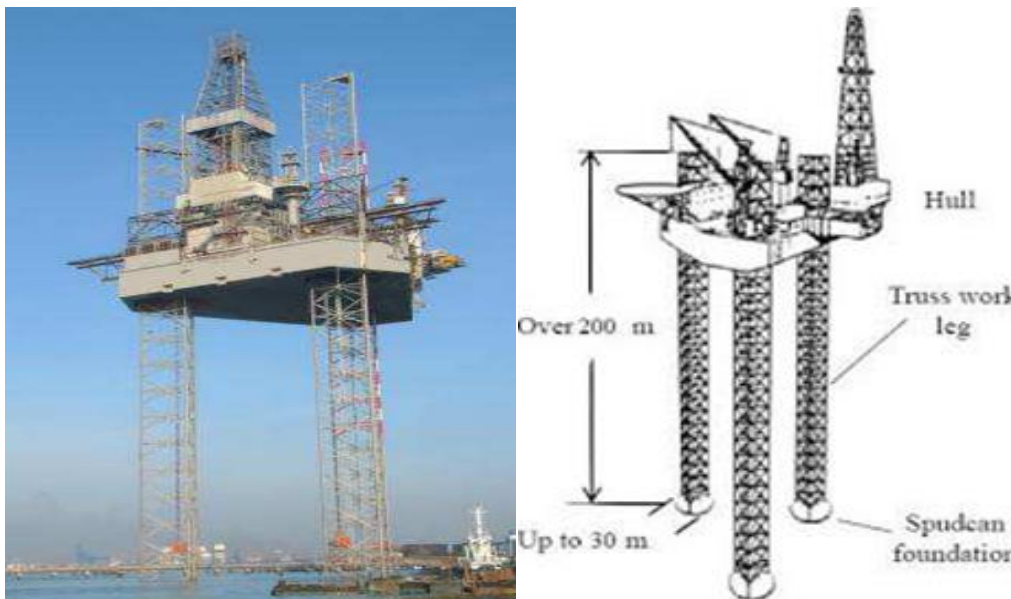
Platforma s fleksibilnim tornjem izrađene su od nekoliko krutih čeličnih dijelova spojenih šarkama tako da se toranj može njihati pod opterećenjem okoliša. U skladu s karakteristikama mase i krutosti kule podešen je tako da njegovo prirodno razdoblje bilo mnogo veće od razdoblja valova u ekstremnom okruženju. Time se smanjuje njegov dinamički odziv na takvo okruženje i proširuje se primjena fiksne platforme na dublje vode poput 1000 m.

Baza i dijelovi tornja su rešetkaste konstrukcije izrađene od čeličnih elemenata. Prostor tornja obično je veći od osnovnog dijela [6].

#### **5.1.4. Samopodižuća platforma sa poduprtim čeličnim nogama**

Platforma sa poduprtim čeličnim nogama (*eng. Jack up*) je odobalne strukture koja se sastoji od trupa, nogu i sustava za podizanje i spuštanje nogu koji omogućuje da nakon što se platforma dotegli na lokaciju, spusti noge na morsko dno i tako pruža oslonac platformi kako bi izdržala sve sile koje utječu na nju. Današnje moderne samopodižuće platforme sposobne su raditi u teškim uvjetima valova većim od 20 m, brzinama vjetra većim od 100 čv i dubinama mora do 170 m. S obzirom da su samopodižuće platforme podržane morskim tlom, kada dođu na lokaciju noge se predopterećuju da bi se simulirala maksimalna moguća opterećenja na noge. Tako se osigurava da nakon što se platforma podigne u radnu poziciju ne dođe do propadanja nogu uslijed opterećenja tijekom operacija na platformi i utjecaja sila prirodnog okruženja.

Samopodižuće platforme koriste se kao odobalna postrojenja od 50-ih godina 20. stoljeća za istraživačka bušenja, eksploataciju, smještaj zaposlenika i kao platforme za održavanje. Kao i sve druge konstrukcije, samopodižuće platforme imaju ograničenja u uporabi. Ta ograničenja uključuju nosivost tijekom transporta (*kada je platforma plovni objekt*), nosivost kada je u radnom položaju, ograničenja uzrokovana prirodnim okruženjem (*vjetar, valovi, morske struje, dubina mora*) i nosivost samogorskog dna. Na slici 18. nalazi se prikaz platforma sa poduprtim čeličnim nogama [2].



**Slika 18. Odobalna naftna platforma sa poduprtim čeličnim nogama (eng. *Jack up*) [2]**

Trup ili ponton samopodizućih platformi je vodonepropusna struktura na kojoj se nalaze alati, oprema i osoblje a koja omogućava obavljanje zadataka platforme. Tijekom tegljenja, kada je platforma plovni objekt, trup osigurava plovnost platforme. Trup platforme najčešće se izrađuje u obliku trokuta za konstrukcije s tri noge i u obliku četverokuta za konstrukcije s četiri noge. Unutar trupa platforma sa poduprtim čeličnim nogama najčešće su smješteni:

- Spremnici vode za izradu isplake,
- Spremnici predopterećenja,
- Spremnici goriva,
- Isplachne pumpe,
- Isplachni bazeni,
- Pogonski motori,
- Spremnici praškastog materijala,
- Elektroenergetska postrojenja,
- Skladište rezervnih dijelova.

Na trupu su obično smješteni:

- Bušachi toranj (*sa ili bez konzolne podkonstrukcije*),
- Helikopterska paluba,
- Palubne dizalice,
- Stambeni dio,
- Kapsule za spašavanje.



Noge platforme i stope nogu na samopodizućoj platformi su čelične strukture koje podržavaju trup kada je on u radnom položaju. Geometrijski oblik završetka stopa nogu, ovisno o dizajnu platforme koji su uglavnom konusnog ili trokutastog oblika. Često se koriste izvedbe stopa nogu s ojačanim vrhovima s ciljem bolje penetracije u morsko dno. Promjer stopa nogu na današnjim platformama varira od 10 m do 20 m ovisno o dimenzijama platforme. Uslijed velike penetracije nogu u meko tlo, noge često ostanu zaglavljene što otežava njihovo vađenje pri napuštanju platforme s lokacije. Zbog toga, noge su opremljene sustavom za ispiranje s mlaznicama koje su integrirane u stope nogu te se korištenjem cjevovoda stope ispiru mlazom, što olakšava njihovo izvlačenje [2].

Penetracija nogu u morsko dno, ovisno o tvrdoćiorskog dna može biti od nekoliko metara u tvrdom dnu, do 40 m u mekanom morskom dnu. Kako bi se predvidjela penetracija nogu u morsko dno, na lokaciji se obavljaju geofizička i geomehanička istraživanja. Noge platforme su čelične rešetkaste konstrukcije i o njihovoj duljini ovise i operativne mogućnosti same platforme. Minimalna duljina nogu suma je dubine penetracije nogu u morsko dno, dubine mora, utjecaja plime i oseke, visine najvišeg vala, povećanja uslijed vjetrova, potrebne zračnosti i sigurnosnog faktora.

Pri namjeni platforme misli se na dvije vrste operacija:

- Upotreba bušaće platforme za istraživačke radove,
- Upotrebu bušaće platforme uz proizvodnu platformu za bušenje ili održavanje.

Sustav za podizanje i spuštanje nogu bitna je komponenta platforme koja radi na principu elektromotornog pogona za pokretanje zupčanika koji zahvaćaju nazubljenu vodilicu nogu. Svaka noga ima zaseban sustav zupčanika i vlastiti motor. Sustav mora biti dimenzioniran tako da omogućuje kretanje nogu projektiranom brzinom kao i zaustavljanje na bilo kojoj visini.

Transport i postavljanje platforme u radni položaj, prolaze kroz tri glavne faze [2]:

- Transport platforme na lokaciju,
- Podizanje platforme na noge i predopterećenje,
- Spuštanje u plutajući položaj i napuštanje lokacije.

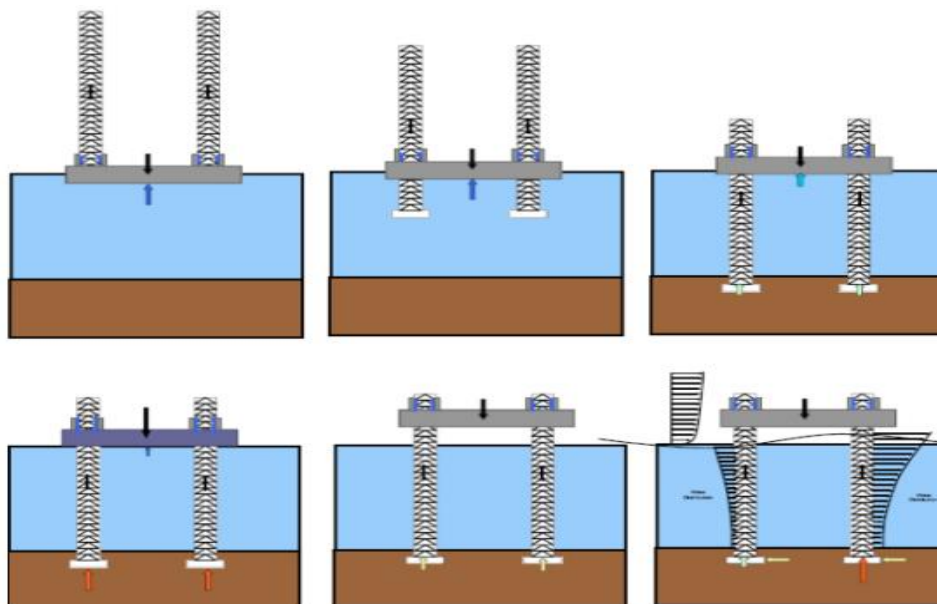
U svakoj od te tri faze sadržane su posebne mjere opreza i zahtjevi kako bi se sve predviđene operacije obavile bez poteškoća. Transport platforme na lokaciju može se obaviti na dva načina, kao *suhi* transport ili kao *mokro* tegljenje.

Mokro tegljenje podrazumijeva upotrebu brodova tegljača (*najčešće dva ili tri*), a suhi transport podrazumijeva upotrebu brodova posebne namjene (*eng. heavy transport carrier*). Takvi brodovi imaju otvorenu palubu koja se balastiranjem može potopiti kako bi se platforma navukla na palubu te nakon toga debalastirati i započeti plovidbu. Upotreba jedne ili druge vrste transporta ovisiti će o udaljenosti lokacije. Tako će se za manje udaljenosti koristiti brodovi tegljači, a za veće udaljenosti suhi transport brodovima. Nužno je prije transporta osigurati vodonepropusnost trupa i ukloniti sav teret, osim onog koji se klasificira kao stalni teret na platformi. Nakon što se platforma dotegla na lokaciju, ona se pozicionira uz pomoć brodova tegljača prema unaprijed određenom planu pozicioniranja (*pomoću bova ili GPS-a*). Kada je platforma pozicionirana, počinju se spuštati noge prema morskom dnu pomoću sustava za podizanje i spuštanje nogu i pontona.

Noge će zbog same težine platforme prodirati u morsko dno do trenutka kada se izjednači težina platforme s nosivošćuorskog dna. Nakon dosjedanja stopa nogu na morsko dno, trup platforme počinje se dizati iz vode. U tom trenutku je od iznimne važnosti da ne dođe do poremećaja stabilnosti platforme uslijed nejednakog prodiranja nogu. Prije početka postupka predopterećenja nogu potrebno je podići trup platforme na visinu od najviše 0,5 do 2,0 m od površine mora, kako ne bi došlo do prevrtanja platforme uslijed eventualnog propadanja jedne od nogu. Tada se pristupa postupku predopterećenja platforme kojim se pune spremnici za predopterećenje kako bi se izbjeglo propadanje nogu i poremećaj stabilnosti uslijed bušenja, slijetanja helikoptera ili nekih drugih operacija na platformi. Primjenom predopterećenja doći će do dodatnog prodiranja nogu u morsko dno, što će u konačnici dovesti do potrebne stabilnosti platforme. Količina vode koja će se upumpati u spremnike za predopterećenje ovisi o nosivostiorskog dna. Zatim se spremnici za predopterećenje prazne i platforma se podiže u svoju radnu poziciju koja ovisi o maritimnim uvjetima za određeno područje akvatorija. Nakon ovih radnji može se započeti izvlačenje konzolne podkonstrukcije s bušaćim tornjem i sa svim radnjama vezanim uz bušenje.

Postupak napuštanja lokacije odvija se spuštanjem trupa do morske površine i postupkom oslobađanja nogu izorskog dna. Poslije završetka radova na lokaciji potrebno je platformu pripremiti za transport (*zatvoriti vodonepropusna vrata, sve vanjske ventilacijske otvore*) i izračunati položaj težišta platforme. Izvlačenjem nogu pomoću sustava za podizanje i spuštanje nogu, platforma je spremna za transport [2].

Na slici 19. prikazan je postupak postavljanja samopodižuća platforma sa poduprtim čeličnim nogama na zadanu lokaciju što se smatra uz postupak napuštanja platforme najvažniji momentom za sigurnos sustava kao cjeline.



**Slika 19. Postavljanje samopodižuće platforme na zadanoj lokaciji [2]**

Bitan faktor za samopodižuće naftne platforme sa poduprtim čeličnim nogama je vanjsko opterećenje. Opterećenja nastaje uslijed djelovanja radne okoline zavise o okolnostima u kojoj se samopodižuća bušaća platforma nalazi. To mogu biti operacije vezane uz premještaj ili izvođenje radova na lokaciji. Kada je platforma pozicionirana na radnu lokaciju i podignuta na radnu poziciju opterećenja su definirana kao:

- Osnovni teret,
- Stalni teret,
- Promjenljivi teret,
- Teret predopterećenja,
- Opterećenja uslijed radne okoline i izvođenja radova.

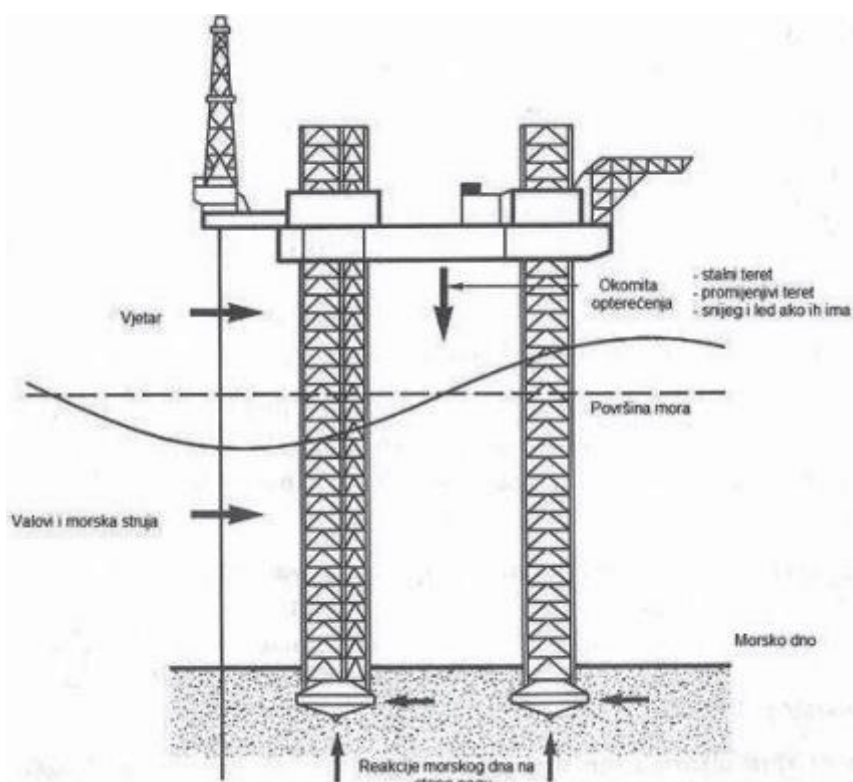
Osnovni teret je težina čelične oplata trupa i pripadajuće opreme potrebne za održavanje platforme tijekom plovidbe, podizanje i spuštanje trupa platforme, težina nogu i stopa nogu te težina helikopterske palube.

Stalni teret je težina opreme koja je uvijek prisutna na platformi a to su: palubne dizalice, stambeni dio, motori, generatori, oprema tornja, otplinjači, podkonstrukcija itd.

Promjenljivi ili varijabilni teret čine: posada, isplaka, praškasti materijali za isplaku, cement, kemikalije, dizelsko gorivo, pitka voda, industrijska voda, ulje za podmazivanje, kolona zaštitnih cijevi, bušaće cijevi, teške bušaće cijevi, oprema za kontrolu tlaka u bušotini, isplačni laboratorij, kontejneri i oprema servisnih tvrtki, itd. Teret predopterećenja (*eng. preload*) je težina morske vode kojom se privremeno pune spremnici tijekom operacije predopterećenja. Po uspješnom završetku postupka predopterećenja, morska voda se ispušta iz spremnika, a ukoliko se dio zadrži u spremnicima u svrhu održanja stabilnosti tijekom izvođenja operacija na lokaciji, treba je uzeti u obzir za proračun centra gravitacije kao varijabilni teret.

Tijekom radova bušenja evidentni su i teret na kuki, koji uključuje teret bušačkog niza i nateg uslijed trenja niza u bušotini, težina bušačkog niza ovješeneog u vrtačem stolu i težina odložena na podištu tornja odnosno teret niza bušačkih cijevi oslonjenih u tornju [23].

Dolje prikazana slika 20. shematski prikazuje sva navedena opterećenja uslijed utjecaja djelovanja radne okoline.



**Slika 20. Opterećenja uslijed utjecaja djelovanja radne okoline [23]**

## 5.2. POKRETNE NAFTNE PLATFORME

Pokretne platforme pričvršćene su za dno zglobno ili preko temeljne ploče i prepona pri vrhu tornja. Ova vrsta platformi koristi se u područjima s težim meteorološkim uvjetima i u područjima velikih dubina gdje nije moguć pristup nepomičnih odobalnih platformi. Kad se platforma dopremi na mjesto bušenja tankovi se napune morskom vodom tako da platforma dobije stabilitet. Pokretnoj naftnoj platformi potporu u svim fazama rada ostvaruje samo njezin vlastiti uzgon. Za uvjete u kojima ovaj tip platformi obavlja svoj rad podrazumijevaju se dubine koje se ne mogu dohvatiti korištenjem fiksnih platformi. Najčešće vrste pokretnih naftnih platformi su:

- Spar naftne platforme,
- Poluuronjive naftne platforme (*eng. semi-submersible*),
- Platforme s nategom u nogama *TPL* (*eng. tension leg platform*),
- Mini platforme s nategom u nogama *TPL* (*eng. mini tension leg platform*).

### 5.2.1. Spar platforme

Spar je odobalna naftna plutajuća platforma za bušenje u dubokom moru. U prošlosti se često koristila za prikupljanje oceanografskih podataka, te za skladištenje nafte. Dubine mora u kojima se danas predviđa korištenje spar platformi je oko 3000 m. Gotovo 90% platforme nalazi se ispod površine mora. Razvile su se kao alternativa konvencionalnim platformama. Zbog velike dubine gaza umanjen je utjecaj valova, morskih mijena, vjetra te morskih struja.

Najrasprostranjenije su u Meksičkom zaljevu, Norveškoj i Maleziji. Platforma se sastoji od vertikalnog cilindričnog trupa velikog promjera koji podupire ponton. Pri dnu trupa nalazi se komora za punjenje koja služi za podešavanje visine težišta kako bi se osigurala potrebna stabilnost platforme. Komora se puni materijalom veće gustoće od gustoće vode. Dodatno, trup je okružen s helikodalnim rebrima (*izbojima*) koje smanjuju vrtložni utjecaj morskih struja. Na donji dio trupa učvršćuje se sustav sidrenih linija *lanac-čelično uže-lanac* ili *lanac-uže* od poliestera lanac i sidri se o morsko dno korištenjem pilota [3].

Donja slika 21. prikazuje tipičan izgled Spar naftne platforme Perdido koja svoj operativni rad obavlja u velikim dubinama Meksičkog zaljeva.

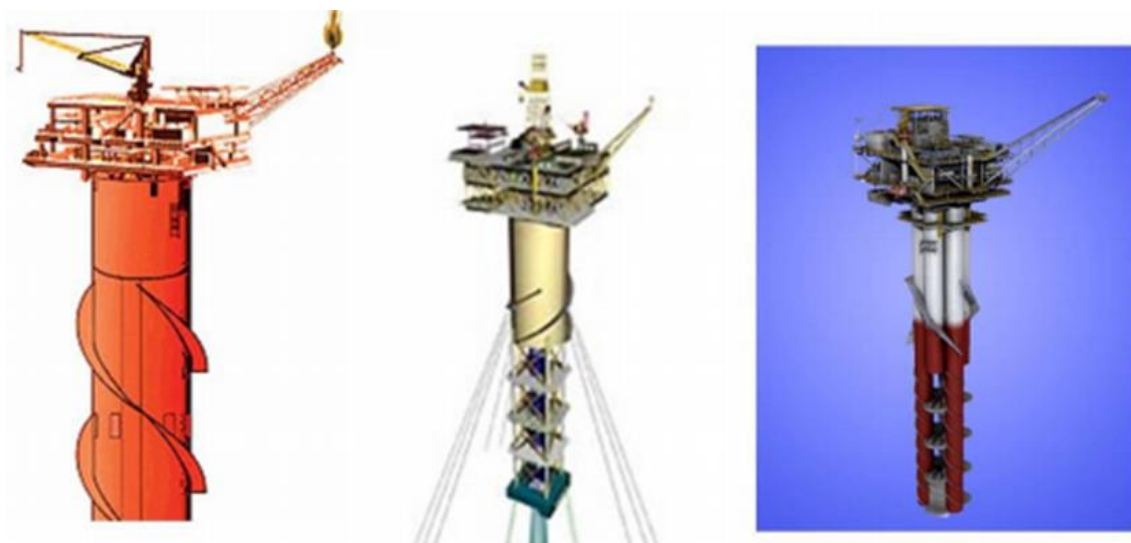


**Slika 21. Perdido spar platforma [3]**

Spar platforme se dijele na tri osnovne poznate vrste:

- Klasična spar platforma-ima trup iz jednog komada,
- Truss spar platforma-središnji dio podvodnog trupa je rešetkaste konstrukcije,
- Cell spar platforma-trup sastavljen od više cilindričnih vertikalnih cijevi.

Slika 22. Prikazuje 3 osnovne vrste spar platformi.



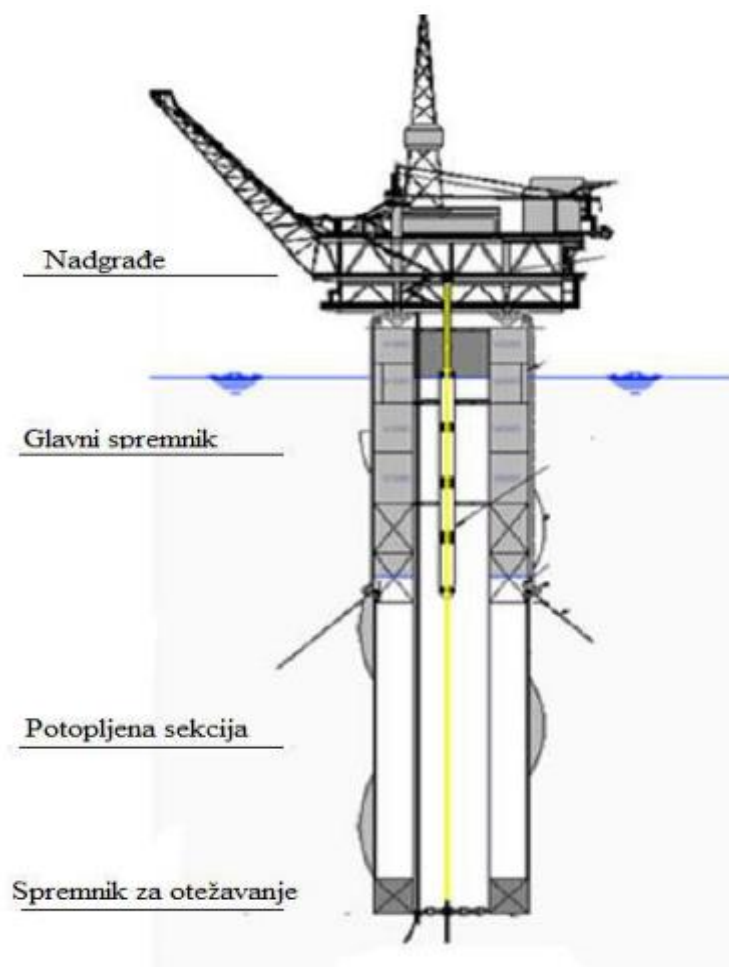
**Slika 22. Vrste spar platformi [3]**

Jedna od glavnih karakteristika spar platformi je povećana stabilnost s obzirom na maritimne utjecaje tijekom izrade ili proizvodnje iz bušotina. Zbog malih pomaka tijekom plutanja omogućene su različite izvedbe opreme bušotine odnosno mogu se koristiti sustavi s podvodnim ili površinskim erupcijskim uređajem sa ili bez bušaćeg postrojenja i sa ili bez postrojenja za proizvodnju. Danas se unaprijeđuju spar platforme kako bi se poboljšale karakteristike s obzirom na područja u kojima se buši jer potražnja za naftom i plinom raste, buši se u sve dubljim vodama i zahtijevnijim uvjetima bušenja. Postoje modificirane konstrukcije, koje obuhvaćaju ugradnju spremnika za sirovu naftu unutar trupa platforme, kako bi se olakšalo korištenje površinskog erupcijskog uređaja i rajzer sustava osjetljivog na pomake.

Značajnije promjene u konstrukciji odnose se na primjenu platformi za duboko bušenje u arktičkom području gdje karakteristike platforme moraju omogućiti nesmetano funkcioniranje u teškim vremenskim uvjetima, razbijati led kao ledolamac uz mogućnost otpajanja u slučaju opasnosti od ledenih santi. Funkcionalni zahtjevi, infrastruktura, konstrukcijski i instalacijski kapaciteti platforme bitno se razlikuju ovisno o regiji u kojoj se izvodi bušenje. Prema tome se i izrađuju i rekonstruiraju spar platforme. Za različita područja i uvjete rada koriste se spar platforme različitih konstrukcija koje mogu biti klasične, truss i cell spar platforme. Specifična područja za bušenje i proizvodnju nafte i plina u kojima dolazi u obzir primjena spar platformi su: duboko more *Meksičkog zaljeva*, *Jugoistočna Azija*, *Zapadna Afrika*, *Sjeverno more*, *Brazil* i *arktička područja Istočne Kanade* i *Barentsovo more*. Spar platforme su puno otpornije i stabilnije u odnosu na klasične platforme. Zahvaljujući dugačkom trupu stabilnost same strukture proizlazi iz različite visine težišta i visine djelovanja uzgona. Težište se može podesiti balastiranjem spremnika unutar trupa platforme. Minimalno ljuljanje spar platforme omogućava korištenje krutih rajzera (*koji su osjetljivi na pomake*) s nategom na površini (eng. *TTR-top tensioned riser*) i čelični ovješeni rajzerski sustav (eng. *SCRs-steel catenary riser system*) na dubinama mora od 300 do 3000 m. Postoji više varijacija tipova spar platformi ovisno o području i dubini na kojoj se koriste. Trup klasične spar platforme sastoji se od tri glavna dijela [3].

- **Cilindrični glavni spremnik** (eng. *hard tank*) - čini gornju sekciju trupa koji omogućava potreban uzgon za podržavanje težine trupa, nadgrađa, rajzera i sustava sidrenja te uključuje odjeljke za balast kao i prazne, šuplje odjeljke,
- **Potopljena središnja šuplja sekcija** - koja se nalazi ispod gornje cilindrične sekcije glavnog spremnika, osigurava odvajanje strukture gornje uzgonske i donje balastne sekcije,
- **Spremnik za otežavanje** - u kojem se nalaze fiksni balasti.

Slika 23. Prikazuje strukturu i dijelove klasične spar platforma kao što su: nadgrađe, glavni spremnik, potopljena sekcija i spremnik za otežavanje.



**Slika 23. Klasična spar platforma [3]**

Sve instalirane klasične spar platforme imaju natezni sustav rajzera podržan s modulima za ostvarivanje uzgona. Truss spar platforma razvila se iz klasične spar platforme s ciljem da se može koristiti u težim vremenskim uvjetima, uz smanjenje težine trupa. Središnja cilindrična sekcija zamijenjena je s prozračnijom, lakšom rešetkastom konstrukcijom između kojih se nalaze metalne ploče za ublažavanje vertikalnih pomaka platforme (*eng.heave plates*). Truss spar ima smanjenu ukupnu težinu trupa u odnosu na klasičnu spar platformu i manja vertikalna kretanja izazvana utjecajem prirodnog okruženja. Smanjena hidrodinamička težina platforme i pomaci smanjuju potrebnu opremu za sidrenje i automatski smanjuju ukupnu cijenu same platforme. Manja težina i dimenzije olakšavaju izgradnju i transport trupa u jednom komadu. Prva truss spar platforma *Nansen* postavljena je 2001. godine u *Meksičkom zaljevu* i sve su, osim jedne platforme takvog tipa, transportirane u jednom komadu na svoju poziciju.



Cell spar platforma je konstruirana za polja male i srednje veličine. Za razliku od klasične i truss spar platforme koje imaju trup velikog promjera izrađen iz jednog komada, trup cell spar platforme sastoji se od više vertikalnih cijevi malog promjera tvoreći simetričnu tvorevinu. Izrada ovakve strukture uključuje već poznati i uobičajeni postupak valjanja, uz brzinsko automatsko varenje, što omogućava manje troškove i bržu izradu same platforme kao i česte potrebne preinake za svako posebno područje bušenja. Prva cell spar platforma Red Hawk postavljena je 2004. godine u *Meksičkom zaljevu*. Koja će se vrsta platforme izabrati za bušenje ovisi o ukupnoj težini nadvodnog dijela, potrebnom skladišnom prostoru u trupu, funkcionalnosti i željenom načinu transporta na odredište.

Klasična spar platforma ima veliki proizvodni skladišni prostor. Jedna od opcija za skladištenje sirove nafte je ograđeni spremnik u središnjoj sekciji trupa platforme iznad spremnika za otežavanje. Središnji otvor za bušenje proteže se od vrha trupa do skladišnog prostora na dnu. Sirova nafta može se skladištiti u razdvojenim odjeljcima u trupu, ali najbolji način je skladištenje iznad površine mora na samoj platformi. Ako se sirova nafta skladišti iznad površine mora, donji dio svakog odjeljka spremnika je otvoren prema moru. Voda ulazi ili izlazi unutar odjeljka na dnu trupa ovisno da li se puni ili istovaruje sirova nafta na površini. Ako je potrebno može se postaviti privremena brana izvan spremničkog prostora, zajedno s grijačem sirove nafte.

Sva nadgrađa spar platformi u Meksičkom zaljevu postavljena su pomoću barže dizalice za teški teret na trup platforme nakon što se trup prethodno uspravno postavi na svojoj poziciji. Jedan od načina transportiranja nadgrađa na lokaciju je tegljenjem kompletne strukture nadgrađa na brodu ili barži. Teret se navozi iznad balastiranog trupa i postavlja se na trup pomoću usadnih modula koji se dovode nad odgovarajuće usadne vodilice trupa. Kompletno nadgrađe se montira debalastiranjem trupa ili hidrauličkim sustavom *podizanja i spuštanja* nadgrađa instaliranim na barži. Nadgrađe se, ovisno o konstrukciji bušaće/proizvodne platforme, može uvući između usadnih vodilica ili se nadgrađe tegli na dvjema baržama koje se istovremeno kreću i navode nad vodilice te se zatim hidraulički spušta [3].

### 5.2.2. Platforme s nategom u nogama

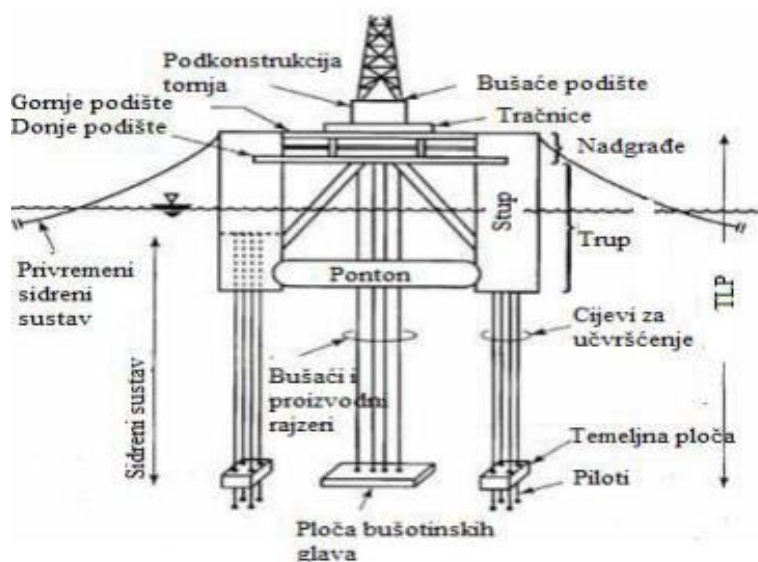
Prva platforma s nategom u nogama (*eng. tension leg platform-TLP*) izrađena je 1984. godine za izradu bušotina, proizvodnju nafte i plina na dubini mora od 150 m u središnjem dijelu Sjevernog mora na polju *Hutton*. Time je dokazano da je moguće izrađivati bušotine i proizvoditi iz njih s plutajuće platforme učvršćene o morsko dno, s erupcijskim uređajem na površini. U narednim godinama izrađene su 23 platforme s nategom u nogama koje su bušile i proizvodile u nekim od najnepovoljnijih i najtežih uvjeta na svijetu, čak i na dubini mora do 1584 m (*Aggarwal, Richard 2013*). Danas su platforme s nategom u nogama dobro poznate *Slika 24.*, dokazano kvalitetne i često se koriste za bušenje i proizvodnju bez obzira koristi li se površinski ili podvodni erupcijski uređaj.



**Slika 24. Platforma s nategom u nogama [3]**

Platforma sa nategom u nogama je jedna od rijetkih plutajućih proizvodnih platformi koja omogućuje razradu dubokih polja u bilo kojem proizvodnom području u svijetu. Nastala je 70-ih godina prošlog stoljeća s ciljem da omogući direktan vertikalni pristup bušotinama na većim dubinama mora od dosega učvršćenih ili zglobnih platformi.

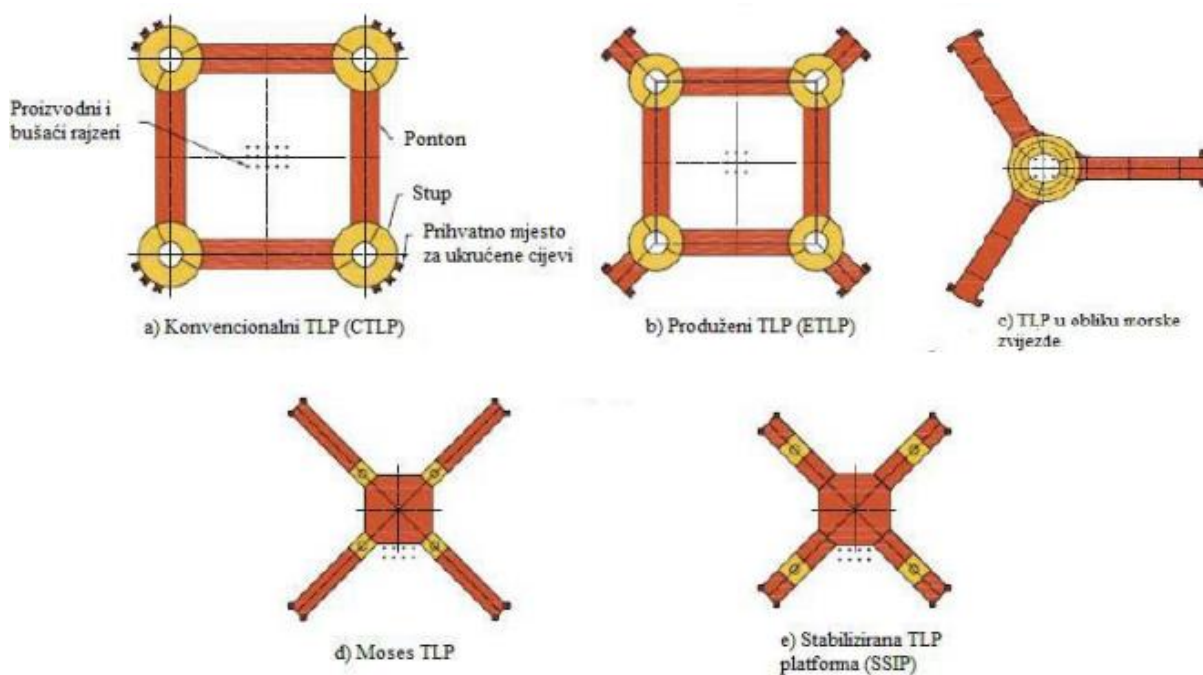
U osnovi sastoji se od plutajućeg trupa na koji se postavlja nadgrađe, usidrena o morsko dno pomoću ukrućenih cijevi za učvršćenje platforme (*engl. tendons*) s temeljnom sidrenom pločom na dnu mora (*eng. tendon foundation template*) kako bi se spriječili vertikalni pomaci zbog djelovanja valova. Ograničenje vertikalnog pomaka platforme omogućava povezivanje proizvodnih bušotina s palubom *TLP-a* korištenjem vertikalnih rajzera pod nategom povezanih s površinskim erupcijskim uređajem. Površinski erupcijski uređaj olakšava pristup bušotini u slučaju potrebnih sekundarnih ili tercijalnih metoda povećanja iscrpka ležišta. To se posebno odnosi na raštrkana i uslojena ležišta. Također, pojednostavljuje ugradnju i vađenje uronjenih električnih dubinskih sisaljki (*eng. electric submersible pumps - ESP*) u cilju povećanja proizvodnih obroka i konačnog iscrpka. Na slici 25. prikazana je konstrukcija trupa platforme s nategom u nogama [3].



**Slika 25. Konstrukcija TLP-a [3]**

Od prve *TLP* platforme koja je postavljena na polje *Haton* 1984. godine razvijeno je nekoliko tipova trupova platforme. Svi tipovi platformi prikazani su na slici 26. a dijele se na:

- Konvecionalne,
- Produžene,
- U obliku morske zvijezde,
- Moses,
- Stabilizirana platforma.



**Slika 26. Tipovi trupova TLP platforme [3]**

Konvencionalni *TLP* (eng. *conventional TLP; CTLP*) imaju četiri karakteristična stupa i ponton u obliku prstena. Prihvatna mjesta za ukružene cijevi za učvršćenje pričvršćene su na vanjske krajeve osnovice stupova dok su proizvodni rajzeri smješteni na podištu bušotinskih glava u samom središtu palube platforme.

Produženi *TLP* (eng. *extended TLP; ETLP*) – je tip platforme identičan konvencionalnom *TLP-u* osim što su prihvatna mjesta za ukružene cijevi spojena na produžetak svakog stupa platforme u razini osnovice stupova. U oba slučaja nadgrađa se mogu instalirati na trup *TLP-a* u pristaništu ili suhom doku uz pomoć dizalice za težak teret, tegljenjem i navođenjem na zaklonjenoj lokaciji. Konfiguracije trupa dizajnirane su za tegljenje integriranog trupa i nadgrađa do mjesta za bušenje. Pontonski produžetci *ETLP-a* povećavaju razmak između ukrućenih cijevi te se tako smanjuje opterećenje svake pojedine ukružene cijevi. Dodavaju se četiri kompleksna produženja pontona na čvorištima stupova, u odnosu na *CTLP*.

*TLP* u obliku morske zvijezde ima jedan središnji stup s tri konzolna pontona koji se pružaju od središnjeg stupa prema krajevima pontona na kojima se nalaze prihvatna mjesta za ukružene cijevi [3].

Varijacija prethodne konstrukcije je tzv. *Moses TLP* sa svežnjom vertikalnih stupova s četiri radijalna konzolna pontonska produženja. Obje se strukture transportiraju na lokaciju *suhim tegljenjem* na plovnom objektu barže ili broda za tegljenje i postavljaju/spajaju pomoću dizalice za težak teret.

Samopostavljajuća stabilizirana *TLP* platforma (*eng. self stabilized installed platform; SSIP*) je varijacija *Moses TLP-a*. Ima veći razmak između stupova trupa što omogućuje transport trupa s nadgrađem *mokrim tegljenjem*, korištenjem brodova tegljača. *Moses TLP* platforme u obliku morske zvijezde isprva su se počele koristiti u Meksičkom zaljevu za proizvodnju iz manjih ležišta s manjim brojem bušotina putem podvodnog ili površinskog erupcijskijskog uređaja. Težine nadgrađa i trupa u odnosu na koeficijente istisnine znatno su manje nego kod *CTLP* i *ETLP-a* što rezultira manjim troškovima izrade trupa i palube. *SSIP* je napravljena kako bi se prevladala ograničenja vezana uz mobiliziranje barže dizalice za veliki teret za potrebe podizanja nadgrađa na trup.

*TLP* su ili će se instalirati diljem svijeta bez obzira radi li se umjerenim meteo-oceanskim uvjetima u Brazilu, blagim uvjetima Zapadna Afrike ili Indoneziji, oštrim klimatskim uvjetima Sjevernog mora ili tajfunskom području Meksičkog zaljeva. Najveća dubina mora u kojoj je bušeno korištenjem *Big Foot TLP* platforme u Meksičkom zaljevu je oko 1580 m. Ta dubina se smatra graničnom što se tiče korištenja ukrućenih cijevi za učvršćenje te će se u budućnosti trebati unaprijediti tehnologija učvršćivanja ukrućenih cijevi kako bi se bušilo na većim dubinama [3].

### **5.2.3. Mini platforme s nategom u nogama *TPL***

Mini *TLP* razvijene su zbog smanjenja ukupnih troškova odobalnog bušenja u dubokim vodama. Prve platforme takvog tipa konstruirane su za uvjete u Zapadnoj Africi uz korištenje pomoćne platforme (*eng. tender assist drilling - TAD*) do dubine 1000 m. Glavni cilj su manji troškovi postrojenja što omogućava isplativost proizvodnje iz manjih, marginalnih polja. Koncept se zasniva na tome da je to platforma s ušćem bušotina na površini s 12 otvora za bušenje, minimalnim brojem prostorija na nadgrađu uz daljinski upravljane operacije bez potrebe za posadom. Na slici 27. prikazana je *Morpeth mini tlp platforma*.



**Slika 27. Morpeth mini TLP [3]**

Najveća posebnost ovakvog tipa platforme je u tome da ima dizajn za rad uz korištenje pomoćnog plovila tijekom bušenja na isti način kao i kod platformi s manjim brojem bušotinskih glava. Pomoćno plovilo može biti barža ili poluuronjiva platforma. Pomoćno plovilo je samoodrživa jedinica opremljena s bušačim postrojenjem, svom dodatnom opremom i uređajima te smještajnim prostorijama za podršku procesa bušenja.

Na postrojenju se nalazi posebna dizalica za rukovanje i prijenos tornja s opremom na TLP. Tijekom bušenja, *mini TLP* podržava težinu cjelokupnog tornja pozicioniranog u središtu bušotinskog prostora s preventerskim sklopom na površini montiranim na visokotlačni bušači rajzer pod nategom. Tijekom opremanja, visokotlačni bušači rajzer se odlaže. BOP se skida i rajzer se ostavlja ovješnim na natezačima u središtu podišta bušotinskih glava s donjim krajem spojen na bušotinsku glavu sljedeće bušotine koja je na redu za bušenje. Nakon toga toranj se postavlja iznad odgovarajućeg otvora za bušenje izvan podišta bušotinskih glava kako bi se spojio proizvodni rajzer i završilo opremanje. Toranj se zatim vraća u centralni položaj gdje je bušači rajzer spreman za izradu nove bušotine. Proizvodni rajzeri se stavljaju pod nateg uz pomoć tornja i zaključavaju na razini donje palube bez potrebe za natezačima i bez potrebe za vodilicama u razini pontona. Na taj način se pojednostavljuje stanje na podištu bušotinskih glava kao i s operativnog aspekta te održavanja rajzerskog sustava. Glavni ciljevi razvoja *mini TLP* su smanjenje troškova manjeg proizvodnog postrojenja u dubokim vodama omogućavajući operatoru razradu ležišta tijekom faza bušenja ili proizvodnje [3].

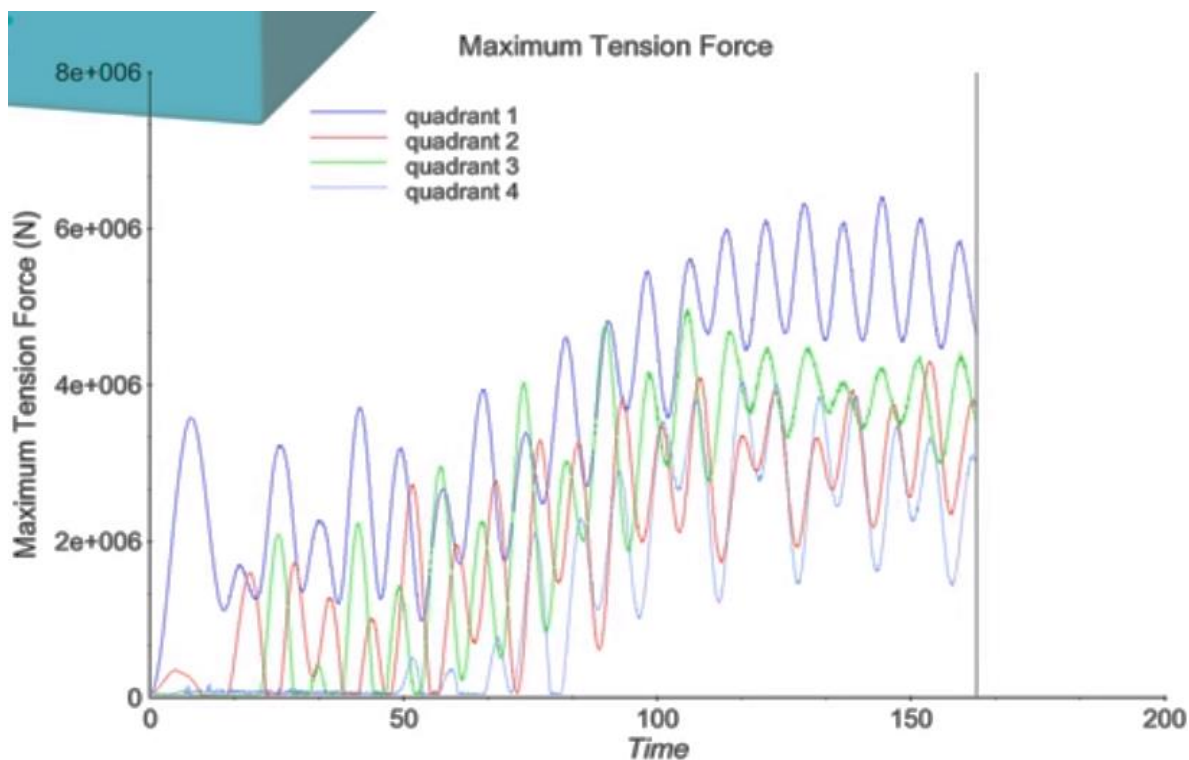
#### 5.2.4. Poluuronjive naftne platforme

Poluuronjive naftne platforme (*eng. semi-submersible*) koriste se u područjima s težim meteorološkim uvjetima. Sastoji se od:

- Palube,
- Donjeg dijela trupa (*oblika katamarana*).

Poluuronjive naftne platforme učvršćuju se za dno sidrenjem. Kad se platforma dopremi na mjesto bušenja tankovi se napune morskom vodom tako da platforma dobije stabilnost.

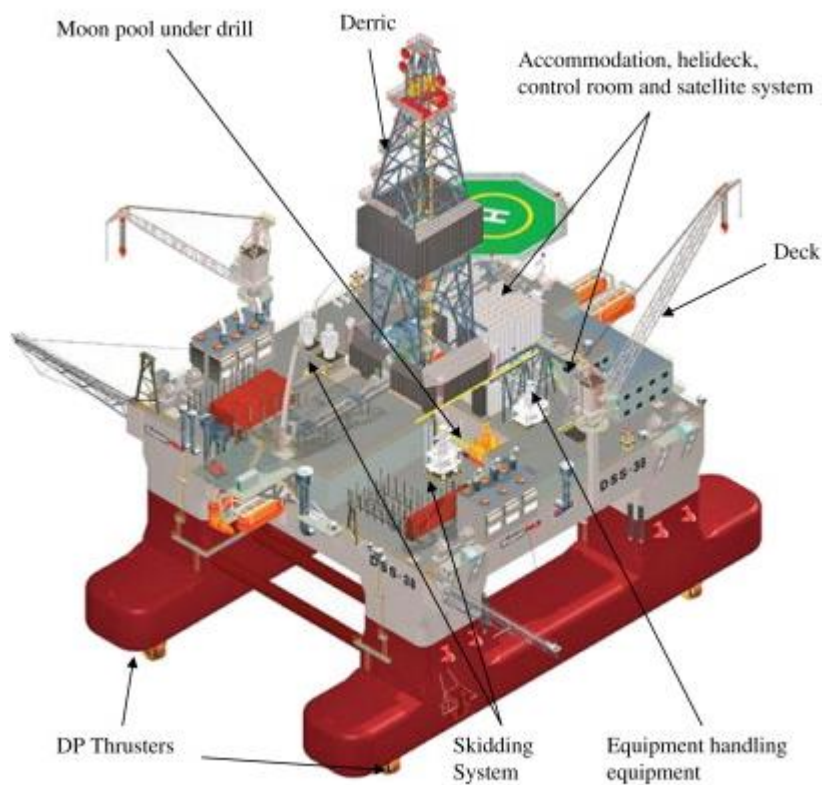
Bušenje na moru u dubini vode većoj od 520 m zahtijeva da se operacije izvode s plutajuće konstrukcije, jer fiksne konstrukcije nisu praktične. Poluuronjive naftne platforme dobivaju većinu svoje plovnosti pomoću napuhanih, vodonepropusnih pontona smještenih ispod površine oceana i djelovanja valova. Strukturni stupovi povezuju pontone i radnu palubu. Zahvaljujući dobroj stabilnosti, radna paluba se može nalaziti visoko iznad razine mora i stoga se drži daleko od valova. S obzirom da je konstrukcija trupa potopljena na dubokom propustu, na poluuronjivu naftnu platformu manje utječu valovita opterećenja od normalnog broda. Međutim, s malim vodostajem, poluuronjiva naftna platforma je osjetljiva na promjene opterećenja i zbog toga treba imati pažljivo podešen trim da bi se održala stabilnost. Slika 28. prikazuje maksimalne sile naprezanja poluuronjene naftne platforme prilikom eksploatacije [16].



Slika 28. Maksimalne sile naprezanja poluuronjene naftne platforme [16]



Ove vrste platformi mogu se premještati iz dubokog u plitko područje deballastiranjem (*uklanjanjem balastne vode iz trupa*). Obično se u ovoj konfiguraciji premještaju s lokacije na mjesto. Slika 29. prikazuje poluuronjivu naftnu platformu i njene najvažnije dijelove.



**Slika 29. Poluuronjiva naftna platforma [16]**

Najvažniji dijelovi poluuronjive naftne platforme su:

- Dizalice (*eng. derrick*),
- Bazen pod bušilicom (*eng. moon pool under drill*),
- Prostorije za osoblje (*eng. accommodation room*),
- Helikopterska paluba (*eng. helideck*),
- Kontrolna soba (*eng. control room*),
- Satelitski sistem (*eng. satellite system*),
- DP trasteri (*eng. DP Thrusters*),
- Sustav tegljenja (*eng. Skidding System*),
- Paluba (*eng. deck*),

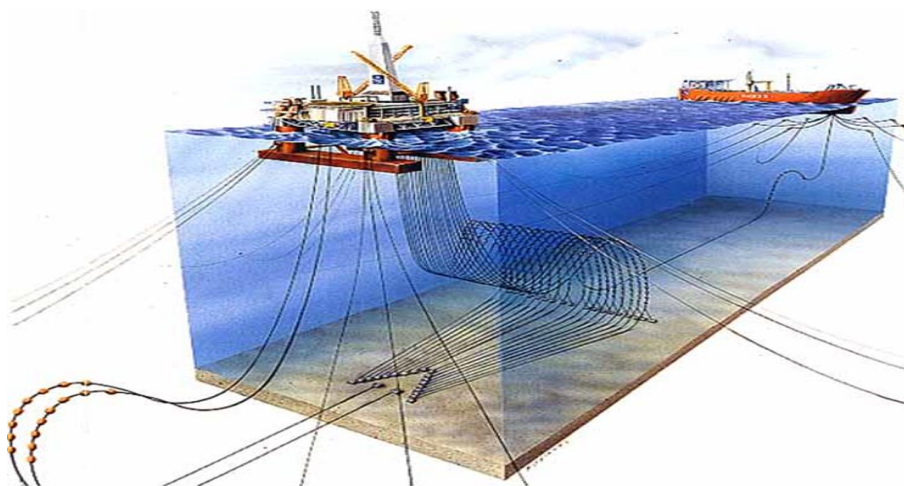


Poluuronjive naftne platforme vrše bušenje u plutajućem položaju, zbog velikih dubina vode. Na slici 29. je prikazana tipična poluuronjena naftna platforma. Budući da se glavni dio građevine nalazi ispod morske površine, ova vrste platformi nisu podložne valnim turbulencijama kao bušači brodovi. Ove platforme se mogu postaviti pomoću dinamičkog pozicioniranja ili sidrenja. Ova vrsta platforme ima prednosti kao što su manje ravnine vodene linije, manja osjetljivost na valne efekte, dobru stabilnost, dugo samoodrživo razdoblje i veliku radnu dubinu. Stoga su prikladni za ugradnju podmorskih konstrukcija od 120 do 1200 m, a možda i dublje.

Poluuronjivi dizajn prvi je put razvijen za aktivnosti naftne platforme ranih 1960-ih. Bruce Collipp iz *Shell-a* smatra se izumiteljem. Međutim, Edward Robert Armstrong možda je zametio put ovoj ideji slijetajućih traka za avione u kasnim 1920-ima, budući da je njegova ideja uključivala istu upotrebu stupova sa balastnim tenkovima ispod površine i pričvršćenima na dno oceana čeličnim kablovima [16].

### 5.3. MODERNA GENERACIJA AUTONOMNIH PLATFORMI

Za polja na većim dubinama mora zbog ekonomskih razloga nastoji se što više sadržaja koncentrirati na jednoj platformi. To su tzv. autonomne platforme, s kojih se izvodi razradno bušenje i proizvodnja, a na sebi imaju sve potrebne sadržaje za kontinuirani rad. Takve platforme imaju sposobnost izvođenja bušotina pod kutem, a s jedne platforme može se izvesti do 60 i više bušotina bez premještanja. S iste se platforme mogu izvesti i dodatne bušotine za reinjekciju plina ili vode radi održavanja pritiska u ležištu [24]. Na slici 30. prkazan je autonomni sustava naftne platforme.



Slika 30. Prkaz autonomnog sustava naftne platforme [24]

#### 5.4. OSTALI OBJEKTI KOJI SLUŽE ZA CRPLJENJE NAFTE S MORSKOG DNA

Brodovi za bušenje obavljaju bušenje kroz otvor na dnu broda. Za velikog nevremena bušenje se mora obustaviti. U početku su se koristili prerađeni tankeri, a poslije specijalni brodovi. S obzirom na to da je ova vrsta brodova namijenjena za odobalno bušenje, njihova izgradnja podliježe pravilima za gradnju i klasifikaciju bušačkih postrojenja *MODU* (eng. *Mobile Offshore Drilling Units*). Svrha *MODU* kodeksa su preporučeni kriterij za dizajn, konstrukcijske standarde, opremu i ostale sigurnosne mjere za pokretna odobalna bušuća postrojenja u svrhu minimiziranja rizika za takva postrojenja, posadu na brodu i okoliš te, u skladu s tim zahtjevima, mora posjedovati certifikat Međunarodne pomorske organizacije – *IMO* (eng. *International Maritime Organisation*). Na slici 31. prikazan je klasičan bušaći brod sedme generacije.



**Slika 31. Bušaći brod sedme generacije [8]**

Slika prikazuje suvremeni bušaći brod sedme generacije. U načelu, bušaći brodovi šeste generacije podrazumijevaju brodove konstruirane od 2006. godine pa nadalje s mogućnošću izrade bušotine maksimalne dubine mora od oko 3050 m, dok sedma generacija brodova podrazumijeva brodove konstruirane od 2010. godine pa nadalje s dosegom dubine mora od oko 3650 m. Glavna konstrukcijska razlika bušačkih brodova šeste i sedme generacije u odnosu na konvencionalni brodski trup je središnji otvor u trupu koji omogućuje pristup moru, odnosno prolaz bušaćeg alata i opreme u more, a nalazi se ispod bušaćeg tornja [8].

Na slici 32. prikazan je središnji otvor u trupu koji omogućuje pristup moru, odnosno prolaz bušaćeg alata i opreme u more.

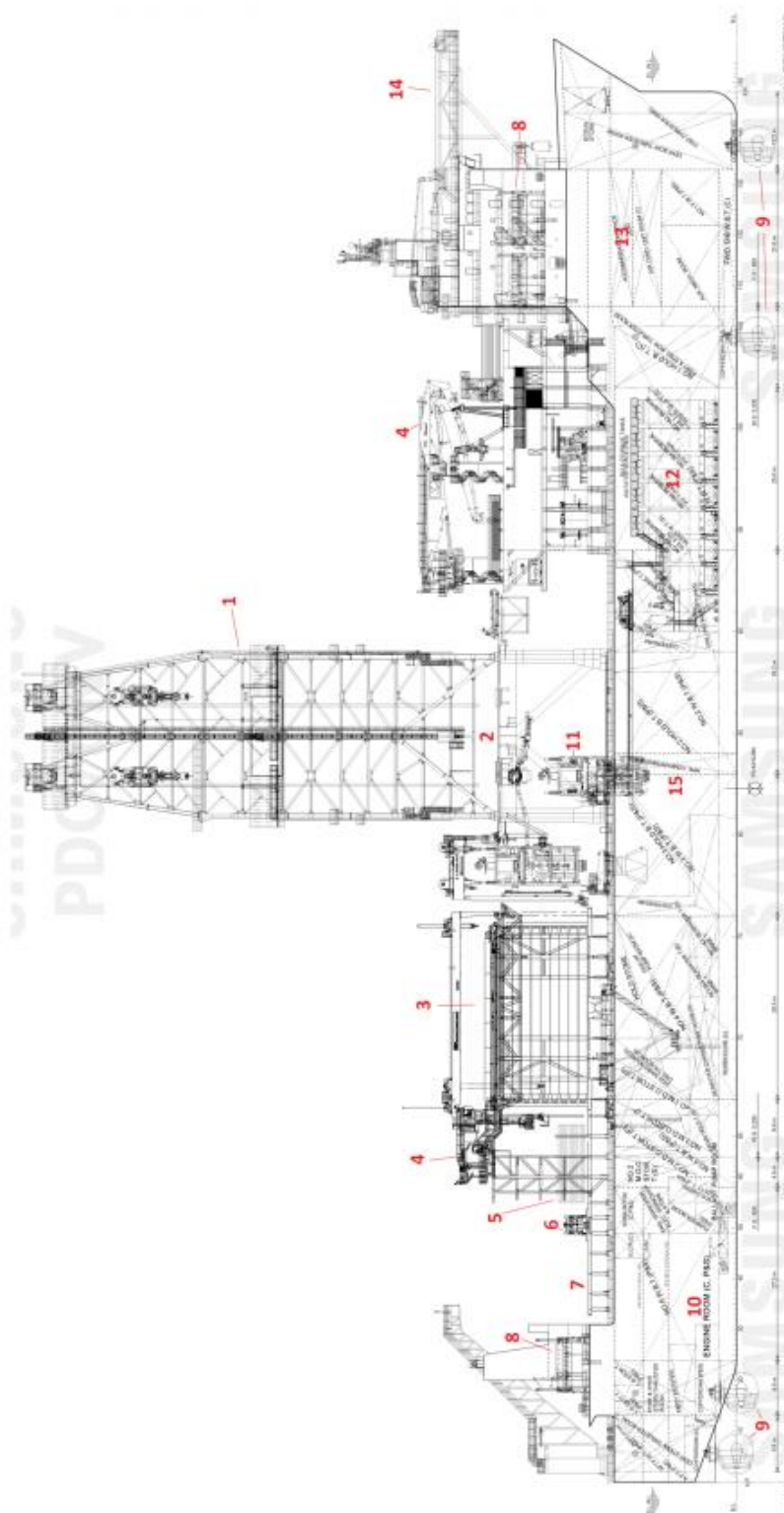


**Slika 32. Središnji otvor na trupu bušaćeg broda [8]**

Osim otvora na trupu, bušači brod je lako prepoznati po bušačem tornju. Nove generacije bušačkih brodova su opremljene dvostrukim tornjem, odnosno dvostrukim bušačim postrojenjem te se takve bušaće platforme u praksi često nazivaju *A* i *B* strana odnosno glavni toranj i pomoćni toranj. Obje strane su opremljene bušačim postrojenjem i bušačom posadom.

Prednost korištenja dvostrukog bušaćeg postrojenja je izvođenje simultanih operacija koje uvelike skraćuju vrijeme izrade bušotine. Prilikom izrade bušotine *A* stranom, na *B* strani se mogu istovremeno sklapati i rasklapati dubinski bušači sklop alatki, nizovi alata i pasovi bušačkih šipki. Također se kroz *B* stranu uvlači sav alat pod toranj poput zaštitnih cijevi, dlijeta, dubinskog bušaćeg sklopa, itd [8].

Na slici 33. vidljiva je shema bušačkog broda sedme generacije na kojem su označene sve komponente.



Slika 33. Shema bušačkog broda sedme generacije [8]

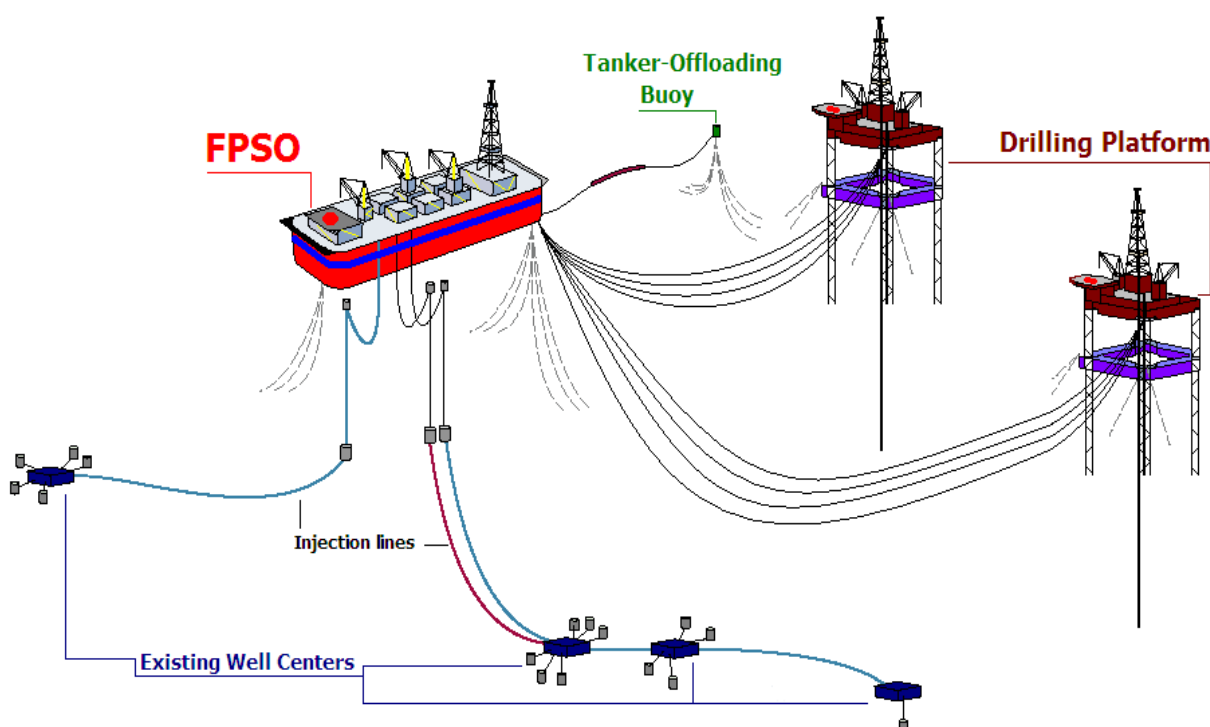
Na slici 33. shematski je prikazan razmještaj dijelova i opreme bušaćeg broda sedme generacije:

- 1 - Bušaći toranj,
- 2 - Bušaće (*radno*) podište,
- 3 - Prostor za skladištenje usponskih (*eng. marine riser*) cijevi,
- 4 - Dizalice,
- 5 - Prostor za skladištenje zaštitnih cijevi,
- 6 - Daljinski upravljana podvodna ronilica *ROV*,
- 7 - Zona za ispitivanje bušotine,
- 8 - Čamci za spašavanje,
- 9 - Potisnici,
- 10 - Strojarnica,
- 11 - Preventerski sklop,
- 12 - Skladišni spremnici (*za bentonit, barit, cement, itd.*),
- 13 - Smještajni prostor,
- 14 - Helikopterska paluba,
- 15 - Središnji otvor u trupu.



## 5.5. FPSO SUSTAVI ZA SKLADIŠTENJE NAFTNIH DERIVATA

Sustavi za skladištenje naftnih derivata (*eng. Floating, Production, Storage and Offloading vessel – FPSO*) je brod koji služi kao sustav plutajućeg spremišta koji preuzima naftu ili plin s proizvodnih platformi, prerađuje i prekrca na tankere ili kroz cjevovod šalje dalje na kopno. *FSO* je sličan sustav ali bez mogućnosti prerade. Na slici 34. vidljiv je shematski prikaz kako *FPSO* sustav funkcionira.



Slika 34. FPSO diagram [14]

Brod *FPSO* dizajniran je za primanje ugljikovodika proizvedenih od vlastitog sustava ili s obližnjih platformi, ovaj sustav je sposoban vršiti preradu i skladištenje nafte dok se ne pretovari u tanker ili, rjeđe transportira cjevovodom. *FPSO*-ovi se preferiraju u pograničnim priobalnim regijama jer su jednostavni za ugradnju i nije im potrebna lokalna cjevovodna infrastruktura za izvoz nafte. *FPSO* brodovi mogu biti prenamjenjeni tankeri za naftu ili mogu biti posebno izgrađeni brodovi. Brod koji se koristi samo za skladištenje nafte (*bez njegove prerade*) naziva se plutajućim brodom za skladištenje i istovar *FSO*.

Nafta proizvedena s platformi za proizvodnju na moru može se transportirati na kopno cjevovodom ili tankerom. Kad se za prijevoz nafte odabere tanker, potrebno je akumulirati naftu u nekom obliku spremnika, tako da tank za gorivo nije kontinuirano zauzet tijekom proizvodnje nafte, a potreban je samo kada se proizvede dovoljno nafte za punjenje tanka [14].

Plutajuća plovila za proizvodnju, skladištenje i istovar osobito su učinkovita na udaljenim ili dubokovodnim lokacijama, gdje cjevovodi u morskom dnu nisu isplativi. *FPSO* uklanjaju potrebu za postavljanjem skupih cjevovoda na daljinu od postrojenja za preradu do obalnog terminala. To može pružiti ekonomski atraktivno rješenje za manja nalazišta nafte koja se mogu iscrpiti u nekoliko godina i ne opravdavaju trošak postavljanja cjevovoda. Nadalje, nakon što se polje isprazni, *FPSO* se može premjestiti na novo mjesto.

Plutajuća jedinica za skladištenje i iskrčavanje *FSO* u osnovi je pojednostavljeni *FPSO*, bez mogućnosti prerade nafte ili plina. Većina *FSO-a* su preinačeni supertankeri, primjer je *Knock Nevis*, bivši *Seawise Giant*, koji je dugi niz godina bio najveći brod na svijetu. Na drugom kraju logističkog lanca *LNG-a*, gdje se prirodni plin vraća na okolnu temperaturu i tlak, posebno modificirani brodovi mogu se koristiti i kao plutajuće jedinice za skladištenje i ponovno uplinjanje *FSRU*. Jedinica za skladištenje i ponovno uplinjanje *LNG-a* prima ukapljeni prirodni plin *LNG* iz pretovarnih nosača *UNP-a*, a ugrađeni sustav regafikacije pruža prirodni plin koji se izvodi na obalu kroz dotoke i cjevovode. Posotje više vrsta konstrukcije skladištenja ovih derivata [14]:

- *FSO* - plutajuće skladištenje i istovar,
- *FPSO* - plutajuća proizvodnja, skladištenje i istovar,
- *FDPSO* - plutajuća konstrukcija, bušenje, proizvodnja, skladištenje i iskrcaj,
- *FSRU* - skladišna jedinica za regresifikaciju.

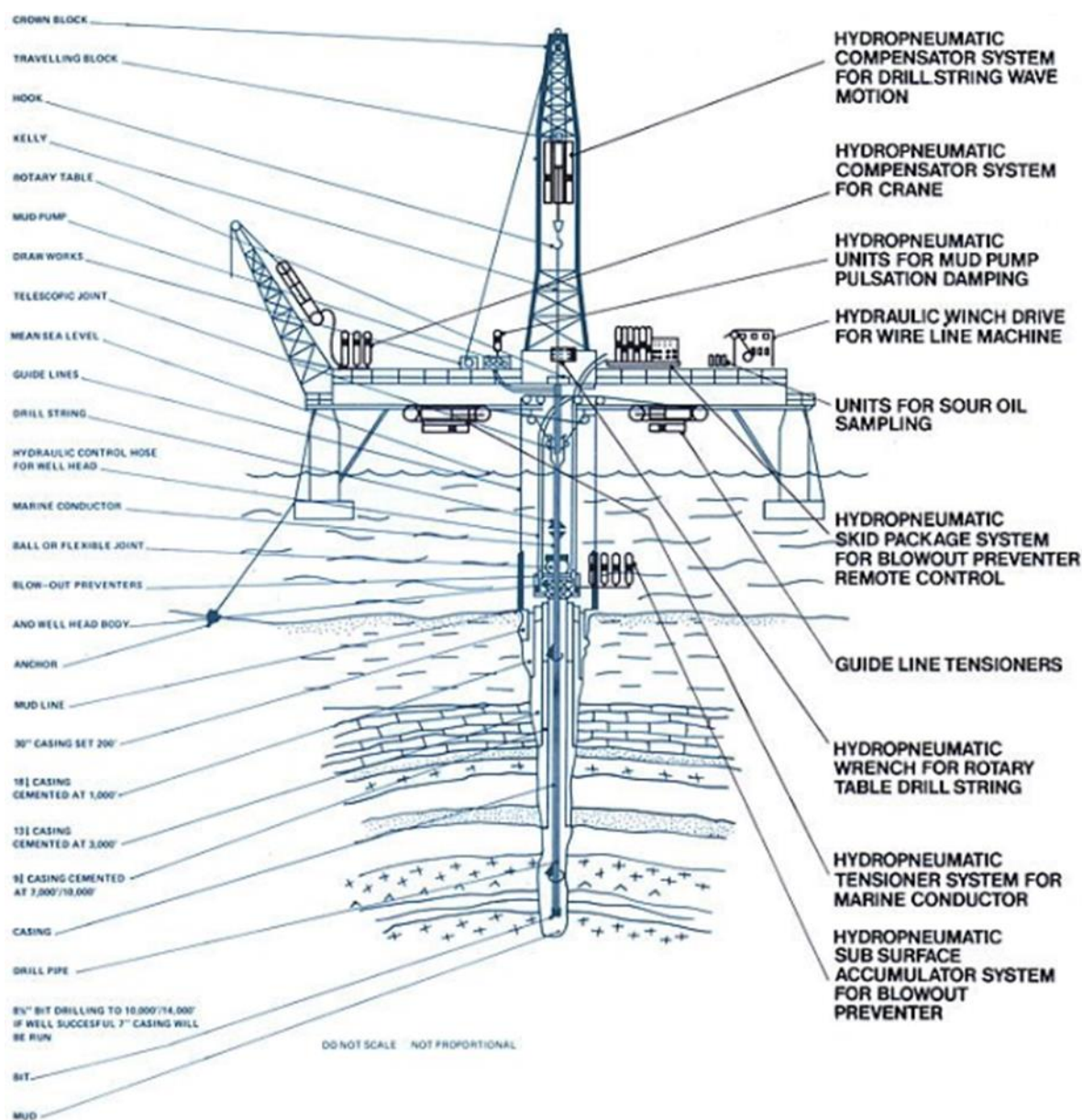


Slika 35. *FPSO* brod [14]

## 6. RADNI DIJELOVI I TEHNOLOŠKA OBILJEŽJA SUSTAVA NAFTNIH PLATFORMI

Offshore uređaji za bušenje imaju slične elemente kao i sustavi bušenja na kopnu, ali konfigurirani su s više različitih sustava bušenja koji odgovaraju bušenju u morskom okruženju.

Oprema povezana s postrojenjem do određene mjere ovisi o vrsti postrojenja, ali obično uključuje mnogo različitih komponenti koje se mogu pronaći na svim postrojenjima crpljenja nafte [25]. Slika 36. prikazuje najvažnije radne dijelove sustava naftnih platformi i njihova tehnološka obilježja.



Slika 36. Komponente sustava naftnih platformi [25]



U najvažnije radne dijelove sustava naftnih platformi ubrajamo elemente kao što su:

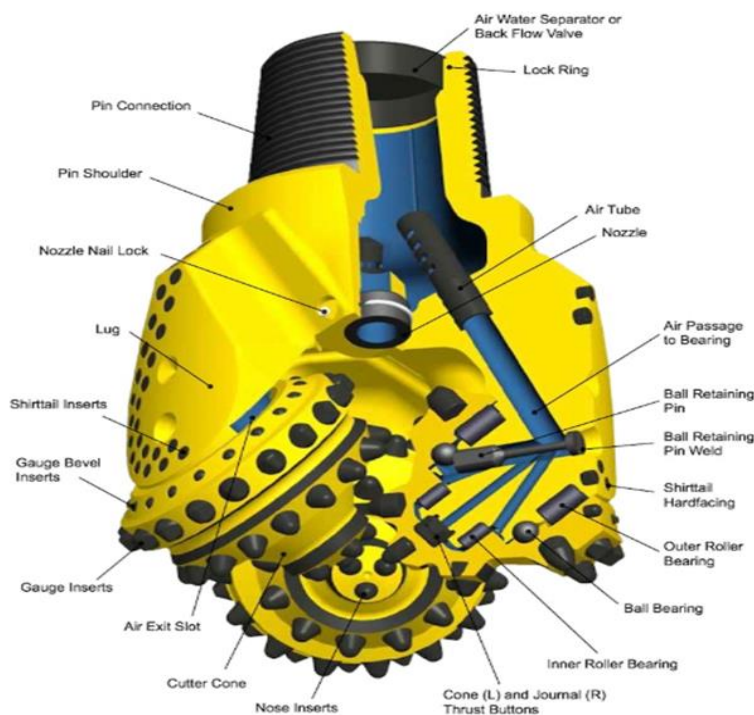
- Dlijeto (*eng. drill bit*),
- Buševa cijev (*eng. drill pipe*),
- Kelly pogon (*eng. kelly drive*),
- Rotacijski stol (*eng. rotary table*),
- Blok s kukom (*eng. traveling block and hook*),
- Spremnik isplake (*eng. mud tank*),
- Pumpa isplake (*eng. mud pump*) ,
- Uređaj za kontrolu krutih tvari (*eng. shale shakers*),
- Sidra (*eng. anchor*),
- Mehanizam podizanja (*eng. drawwork*),
- Cijveni okretni bušeci mehanizam (*eng. drill string*),
- Hidraulično kontrolano crijevo za naftni izvor (*eng. hydraulic control hose*),
- Kučište (*eng. casing*),
- Hidropneumatski podvodni akumulatorski sustav za zaštitu od eksplozije (*eng. hydropneumatic subsurface accumulator system for blowout preventer*),
- Hidropneumatski zatezni sistem (*eng. hydropneumatic tensioner system for marine conductor*),
- Hidropneumatski ključ za opružno rotacijsko bušenje (*eng. hydropneumatic wrench for rotary table drill spring*),
- Zatezači vodilice (*eng. guideline tensioners*),
- Hidropneumatski klizni sustav za uklanjanje eksplozice na daljinsko upravljanje (*eng. hydropneumatic skid package system for removal of blowout on remote control*),
- Jedinice za uzorkovanje kiselog ulja (*eng. units for sour oil sampling*),
- Hidraulični pogon vitla od strane žičanog stroja (*eng. hydraulic winch drive for wire line machine*),
- Hidropneumatska jedinica za pumpu isplake prigušivanja vibracija (*eng. hydropneumatic unit for mud pump pulsation dumping*),
- Hidropneumatski komponentni sustav za dizalicu (*eng. hydropneumatic component system for crane*)
- Hidropneumatski komponentni sustav za kretanje valova (*eng. hydropneumatic component system for drillstring wave motion*).

## 6.1. DLIJETO

U naftnoj i plinskoj industriji dlijeto je alat dizajniran za stvaranje obično cilindrične rupe (*bušotine*) u zemljinoj kori rotacijskim načinom bušenja za otkrivanje i vađenje ugljikovodika poput sirove nafte i prirodnog plina. Promjer bušotine koju proizvede dlijeto je prilično mali, u usporedbi s dubinom rupe. Podzemne se formacije mehanički razdvajaju struganjem, brušenjem ili lokaliziranim tlačnim lomljenjem. Produkti bušenja proizvedeni radom dlijeta najčešće se uklanjaju iz bušotine i kontinuirano se vraćaju na površinu metodom izravne cirkulacije. Dlijeto je ono što se zapravo urezuje u stijenu prilikom bušenja bušotine za naftu ili plin. Smješteno je na vrhu, koje se obično sastoji od dva ili tri konusa sastavljena od najtvrdijih materijala (*obično čelika, volfram karbida, sintetike ili prirodnog dijamanta*) i oštri zubi koji se urezuju u stijenu i sediment ispod. Bušenje stijena uglavnom se koristi s pumpom za isplaku. Postoje dvije najčešće vrste dlijeta [5]:

- Dlijeto sa čeličnim zubima za mekane do srednje formacije,
- Dlijeto s volframovim karbidom za srednje do vrlo tvrde formacije.

Na slici 37. prikazano je dlijeto, element koji se nalazi na vrhu rotirajućeg sustava.



Slika 37. Element rotirajućeg bušenja dlijeto [17]

Dlijeto se sastoji od osnovnih elemenata kao što su prikazani na slici. 37:

- Valjna tijela,
- Rukavac ležaja,
- Spremnik maziva,
- Kompezator pod tlakom,
- Mlaznica za isplaku,
- Stožasto tijelo,
- Karbidne oštrice,
- Navoj za spajanje s bušećom kolonom.

Bez obzira na vrstu, dlijeto mora zadovoljiti dva osnovna dizajnerska uvjeta:

- Maksimizirati brzinu prodora (*ROP*) u postrojenje,
- Osigurati dug radni vijek.

Moderne operacije bušenja naftnih polja zahtijevaju velike kapitalne i operativne troškove. To bi moglo koštati stotine tisuća dolara za mobilizaciju opreme i resursa radne snage potrebne za bušenje na mjestu. Nakon postavljanja postrojenja, nastaju znatni dnevni troškovi bez obzira na to je li bušotina izbušena ili ne. Učinkovitost dlijeta često se mjeri kao trošak bušenja po metru izbušenog otvora. Troškovi samog dlijeta su mali dio ukupnih troškova bušenja. Dlijeto ima različita ograničenja koja se moraju ispuniti, kako bi se bušenje izvršilo kvalitetno:

- Vrsta formiranja (*tvrdća, plastičnost, abrazivnost itd.*) koju treba izbušiti,
- Radno okruženje na dubini (*temperatura, tlak, korozivnost*),
- Mogućnosti opreme koja se koristi u radu (*brzina okretanja, raspoloživa težina na dlijeto, pumpa, konjska snaga itd.*)
- Kut bušenja (*okomiti, usmjereni, vodoravni itd.*).

Nova istraživanja pokušavaju uravnotežiti ta ograničenja kako bi se postigli primarni ciljevi. Većina noževa i fiksnih rezača dlijeta imaju unutarnje prolaze za usmjeravanje tekućine za bušenje, koje se bušilicom prenose iz površinskih crpki, preko hidrauličnih mlaznica usmjerenih na dno bušotine, kako bi se proizveli mlazovi velike brzine koji pomažu u čišćenju starih odlomljenih djelova dna prije nego što sljedeći zub dodirne stijenu. Dlijeto se svrstava u dvije glavne skupine prema njegovom primarnom mehanizmu rezanja. Rotirajuće rezani dijelovi buše se uglavnom lomljenjem ili drobljenjem tvorbe reznim elementima u obliku zuba na dva ili više elemenata u obliku konusa koji se kotrljaju kako se zakreće zavoj.

Fiksno dlijeto upotrebljavaju skup noževa s vrlo tvrdim elementima za rezanje, najčešće prirodnim ili sintetičkim dijamantom, kako bi se materijal uklanjao struganjem ili mljevenjem.

Motor je glavni pokretač koji je izvor snage za bušenje. Prije ranih 1900-ih oprema za bušenje se pokretala pomoću stoke i drvenog kotača, ali sada se rotirajuća oprema pokreće rotacijskim stolom koji je povezan s Kelly pogonom. Kelly je povezan s ovratnikom bušenja, koji vrši pritisak i težinu na dlijeto kako bi se izbušio kroz stijenu i sediment. Bušiva dlijeta se spajaju s donjim krajem kolone zaštitnih cijevi te su specijalno dizajnirana za izradu vertikalnih i usmjerenih bušotina do konačne dubine u samo jednom spuštanju. Uvođenjem polikristalinskih dlijeta (*PDC*) 1972. godine s *PDS* reznim elementima koji smanjuju trošenje dlijeta i omogućuju postizanje većeg napretka bušenja i bušivih dlijeta povećana je uspješnost izrade bušotina korištenjem klasičnog niza alatki kao i primjenom kolone zaštitnih cijevi [5].

Na slici 38. shematski je prikazan sustav koji daje okretni moment dlijetu.



Slika 38. Shema sustava mehanizma koji daje okretni moment dlijetu [34]

## 6.2. KOLONA CIJEVI ZA BUŠENJE

Kolona za bušenje se sastoji od različitih tipova cijevi i alata. Svrha joj je prenošenje torzijskog momenta do dlijeta, stvaranje normalne sile na dlijeto, dovođenje isplake na dno bušotine te vođenje i upravljanje putanjom dlijeta. Cijevi za bušenje postoje u različitim duljinama i promjerima. Na pojedinoj cijevi se mogu uočiti tri karakteristične značajke:

- Tijelo cijevi,
- Vrat s unutrašnjim navojem (*eng. Bow*)
- Vrh na suprotnoj strani sa vanjskim navojem (*eng. Pin*).

Vrat i vrh cijevi s navojem se često izrađuju kao zasebni dijelovi od alatnog čelika koji se potom zavaruju trenjem na tijelo cijevi. Na slika 39. prikazane su karakteristične značajke cijevi za bušenje i osnovni dijelovi od kojih su građene.



Slika 39. Karakteristične značajke cijevi za bušenje [26]

Cijevi ima više vrsta, a općenito se mogu svrstati u dvije skupine:

- Bušne cijevi,
- Teške cijevi.

Teške cijevi se stavljaju iznad dlijeta i imaju mnogo deblju stjenku od ostalih bušnih cijevi kako bi imale što veću masu. Velika masa tih cijevi je potrebna za stvaranje normalne sile na dlijeto kako bi ono moglo obavljati svoju zadaću. Duljina cijevi se u naftnoj industriji izražava u mjernoj jedinici stopa (*jedna stopa je ekvivalentna 0,3048 m*) [26].

Bušna cijev je šuplja, tankoslojni element od čelika ili drugih legure koji se koriste na naftnim platformama za bušenje. Šuplja je kako bi se omogućilo da se tekućina za bušenje izbaci kroz otvor i natrag na ispust. Dolazi u različitim veličinama, jačinama i debljinama. Bušna cijev mora biti dizajnirana za prijenos zakretnog momenta bušenja za kombinirane duljine koje ulaze u dubinu zemljine kore, a također moraju biti u stanju oduprijeti se razlikama tlaka iznutra i izvana (*ili obrnuto*). Za duboke bušotine to zahtijeva kaljene čelične cijevi koje su skupe, a vlasnici troše velike napore kako bi ih ponovo koristili nakon što su dovršili bušotinu. Bušna cijev je dio cjelokupne bušilice. *BHA* će se izrađivati od debljih zidnih bušaćih cijevi velike težine, koji imaju veći vanjski promjer i daju težinu svrdla i čvrstinu sklopa za bušenje. Ostale komponente mogu uključivati motor s isplakom, mjerenje tijekom bušenja, stabilizatore i razne specijalne alate za bušenje. Bušna cijev uključuje čitav niz povezanih elemenata, kao kelly sustav koja na vrhu vrši vrtnju i okretni moment na bušilici.

Moderna cijev za bušenje izrađena je od zavarivanja najmanje tri odvojena komada: spoj alata za kutiju, spojnica alata s čepovima i cijevi. Proizvođač čeličnih cijevi dobiva cijevi od čeličane. Krajevi cijevi su tada postavljeni da povećaju površinu presjeka krajeva. Cijev u procesu prolazi kroz postupak toplinske obrade. Spojevi cijevi i alata su zavareni pomoću inercije s rotacijskim nagibom ili trenjem s izravnim pogonom. Cijev se drži nepomično dok se spoj alata okreće pri velikim okretajima. Toplina i sila u tom trenutku kvalitetno zavaraju cijev.

Jednom kada se uklanjaju spojevi ili višak materijala, linija zavarivanja može se vidjeti samo pod mikroskopom. Inercijsko zavarivanje trenjem je tradicionalna dokazana metoda. Zavarivanje trenjem s izravnim pogonom kontrolira se i nadzire do 1000 puta u sekundi, što rezultira finim kvalitetnim zavarivanjem koje ne mora nužno imati potisni i temperaturni režim potpune termičke obrade [25]. Na slici 40. prikazana je bušna cijev koja se koristi na naftnoj platformi.

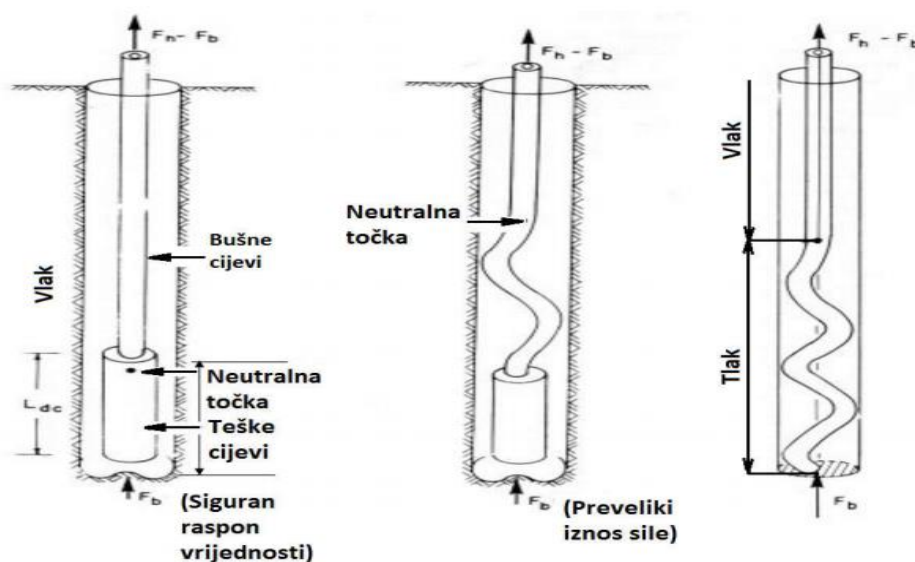


**Slika 40. Bušeća cijev [25]**

Cijevi su elementi bušne kolone koji trpe velika i složena naprezanja:

- Opterećeni su vlačno težinom ostatka bušne kolone,
- Torzijskim momentom koji se prenosi do dlijeta,
- Momentom savijanja tijekom vrtnje (*zbog svoje elastičnosti cijevi se ne vrte poput krutog tijela oko idealne vertikalne nepomične osi već se javljaju mjestimični progibi cijevi uzduž kolone*),
- Utjecaj visokog unutarnjeg tlaka isplake.

Utjecaj svih ovih spomenutih parametra na opterećenje bušne kolone se može vidjeti na slici 41.



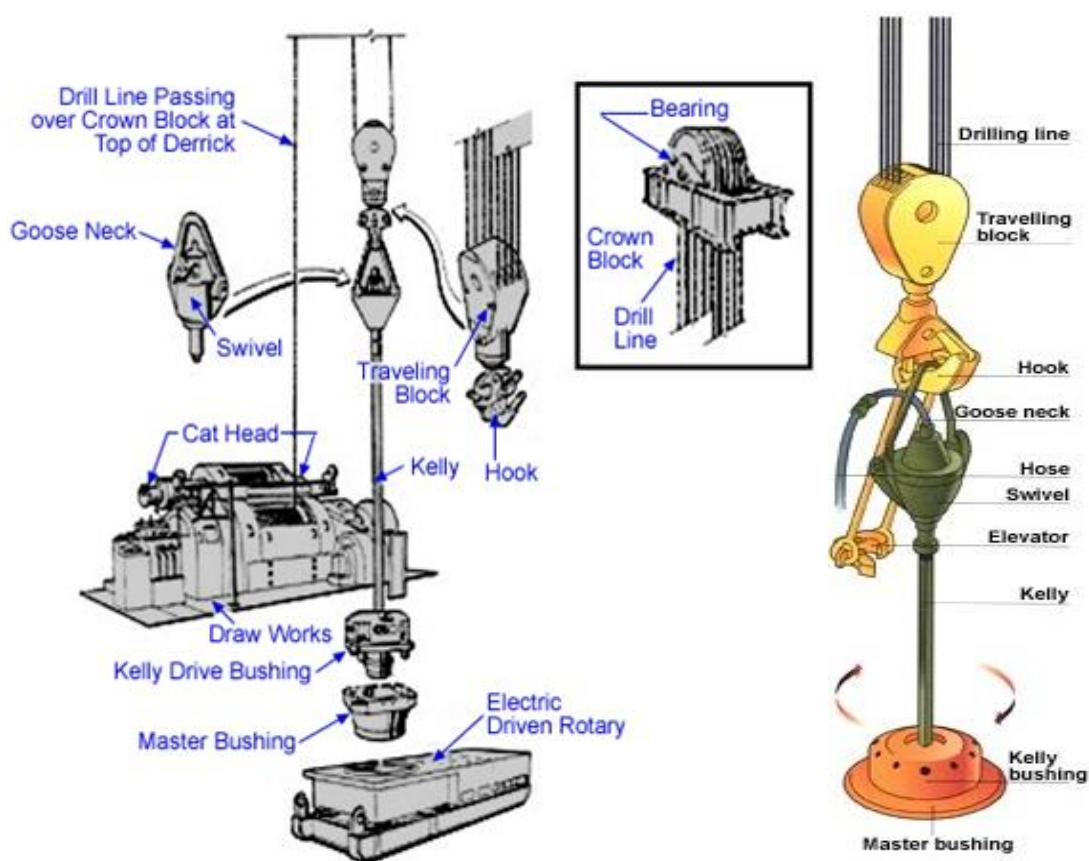
**Slika 41. Izvijanje cijevi djelovanjem opterećenja [26]**

Ako je parametar u sigurnom rasponu vrijednosti cijevi bušne kolone su vlačno opterećene, dok u slučaju prevelikog iznosa sile na dlijeto dolazi do izvijanja najnižih cijevi u koloni uslijed vlastite težine cijevi ostatka kolone koje se nalaze iznad [26].



### 6.3. KELLY POGON I ROTACIJSKI STOL

Kelly pogon je dobio ime po *Michaelu J. Kellyju*, igraču bejzbola iz *Chicaga*. Kelly pogon (*eng. Kelly drive*) je sustav za prijenos okretnog momenta s okretnog stola na sklop bušnih cijevi s dlijetom. Kelly pogon odnosi se na vrstu uređaja za bušenje bušotine na postrojenju za bušenje nafte ili plina koji koristi dio cijevi s višekutnom ili nagibljenom vanjskom površinom, koja prolazi kroz odgovarajuće višekutne ili nagibne kelly vodilice i okretni stol. Sustav se okreće preko okretnog stola i na taj način se cijev i pričvršćeni bušeci niz okreće, dok višekutna cijev slobodno klizi vertikalno dok dlijeto kopa dublje. Prilikom bušenja, dlijeto se pričvršćuje na kraju i na taj način kelly pogon osigurava okretni moment za dlijeto. Kelly je od čelika ojačanog gumom, ali se koriste i sklopovi *Chiksan-ove* čelične cijevi i okretni dijelovi. Na slici 42. prikazana je shema kelly pogona sa svim podkomponentama [13].



Slika 42. Kelly pogon [13]

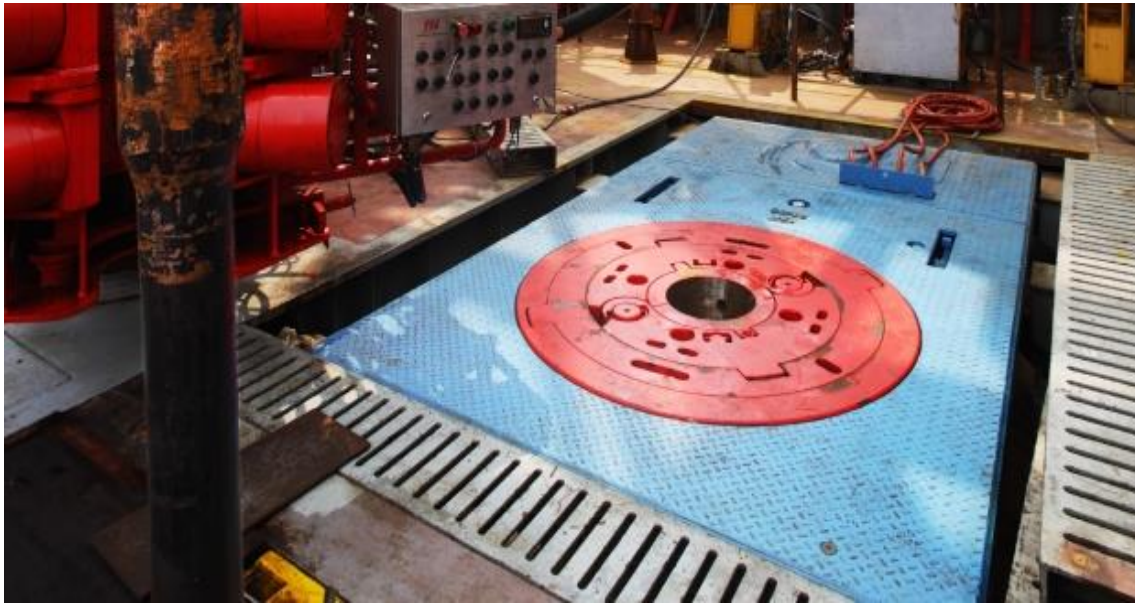
Na slici su prikazane sve komponente kelly pogona u koje ubrajamo:

- Čelično podizno uže (*eng. drilling line*),
- Pokretni blok (*eng. travelling block*),
- Amortizer udara (*eng. shock absorber strikes*),
- Kuka (*eng. hook*),
- Ušica isplačne glave (*eng. goose neck*),
- Isplačna glava (*eng. hose and swivel*),
- Uređaj za spajanje cijevi (*eng. kelly and master bushing*).

Kelly profil, je šuplji čelični profil čiji je vanjski obod u obliku četverokuta ili šesterokuta, izrađen je od termički obrađenog visokokvalitetnog čelika. Na dnu ima urezan navoj putem kojeg se spaja s novim cijevima. Svrha tog elementa je prijenos okretnog momenta do bušnih cijevi dok on sam, istovremeno, rotira i translacija. Kelly glavina je glavina koja se nalazi između Kelly profila i glavne glavine. Njezin unutarnji utor je oblikom prilagođen Kelly profilu kako bi se mogao prenijeti moment. Kelly glavina sjeda u glavnu glavinu koja se nalazi u okretnom stolu, a koji predaje moment s pogonskog motora za bušenje [26].

Gornji kraj bušne cijevi pričvršćen je na zaštitnu podlogu. Uštedna podstava služi za zaštitu i minimiziranje istrošenosti i kidanja navoja na dnu Kellyja. Kelly je četvrtastog ili šesterokutnog oblika, a šupalj je u cijelom presjeku radi prijenos isplake za bušenje. Kelly se slobodno kreće kroz vodilicu iako je mehanizam zakretan. Kelly ventil nalazi se na vrhu i to je sigurnosni ventil koji se može zatvoriti kako bi se zaustavio povratni tlak kako nebi oštetio ostalu površinsku opremu. Općenito, okretni pogon sastoji se od lanca i lančanika s rotacijskim pogonom. U ostalim sustavima postrojenja sa pogonom koristi se neovisni električni motor ili motor s izravnim pogonom na rotacijski stol. U ovom slučaju sustav se obično pokreće pogonskim vratilom, a ne lančanicom i zupčanicom [13].

Rotacijski stol zakreće Kelly vodilicu i istovremeno rotira Kelly, bušnu cijev i dlijeto. Rotacijski stol ima dvije glavne funkcije. Prvo je omogućiti rotaciju dlijeta, a druga funkcija je držanje sustava prilikom slipa kako bi podržala težinu bušilice dok nije spojena na Kelly. Na slika 43. prikazan je tipičan izgled pogona rotacijskog stola.



**Slika 43. Rotacijski stol [27]**

Rotacijski stol je mehanički uređaj na bušilici koji omogućuje rotacijsku silu bušilice u smjeru kazaljke na satu kako bi se olakšao proces bušenja bušotine. Rotacijska brzina je broj koliko okretni stol napravi okretaja punog kruga u jednoj minuti (*okr/min*). Rotacijski stol naziva se i okretni stol. Većina okretnih stolova se pokreću lancima. Ovi lanci nalikuju vrlo velikim lancima za bicikle. Za lance je potrebno stalno podmazivanje kako bi se spriječilo sagorijevanje i zapaljenje. Rotacijski ulošci nalaze se u središtu rotacijskog stola. Oni se obično mogu ukloniti u dva odvojena komada. Veliki razmak u središtu okretnih utora zbog svog izgleda naziva se *zdjela*. Rotacijski upornici spajaju se na kelly vodilice kako bi zapravo potaknuli rotacijsku silu potrebno za bušenje. Najnovije proizvedene instalacije više nemaju rotacijske pogone. Ovi noviji uređaji odlučili su se za vrhunsku pogonsku tehnologiju. Kod gornjeg pogona, bušača žica se okreće pomoću mehanizama smještenih u gornjem pogonu koji su pričvršćeni na blokove. Zakretanje nema potrebe jer gornji pogon poduzima sve potrebne radnje [13].

#### 6.4. ROTACIJSKI ČVOR I BLOK S KUKOM

Rotacijski čvor je mehanizam tj. mehanički uređaj koji se koristi na bušilici koja visi izravno ispod putnog bloka i neposredno iznad kelly pogona, rotacijski čvor pruža mogućnost okretanja *Kellyja* (*i nakon toga bušilice*), ovaj uređaj omogućuje da putni blok ostane u stacionarnom rotacijskom položaju (*ali omogućuju vertikalno kretanje uzduž i dolje*), istovremeno omogućujući uvođenje tekućine za bušenje u bušaći niz. Na slici 44. prikazan je rotacijski čvor.



Slika 44. Rotacijski čvor [13]

Kuka putujućeg bloka je integrirana s putnim blokom s prednostima male ukupne veličine i kompaktne strukture, koja skraćuje kombiniranu dužinu putnog bloka i kuke i lako je u potpunosti iskoristiti visinu osovine i upravljati [13]. Na slici 45. prikazan je blok s kukom.



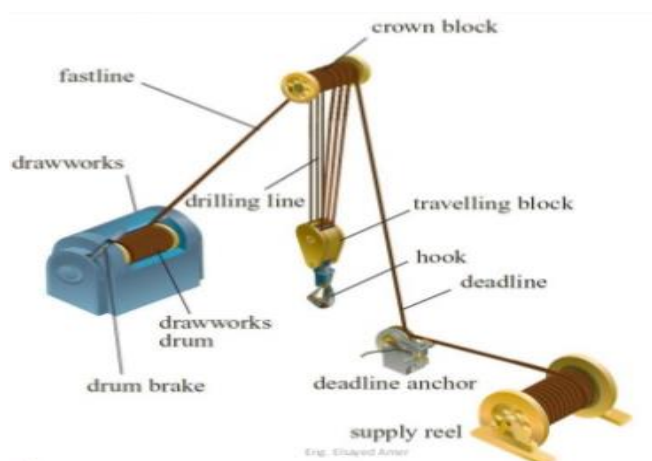
Slika 45. Blok s kukom [13]

## 6.5. MEHANIZAM DIZALICE

Vučni blok je glavna komponenta dizalice s rotirajućim bubnjem. Njegova glavna funkcija je osigurati sredstvo za podizanje i spuštanje putnog bloka. Moderni sustavi sastoje se od pet glavnih dijelova:

- Bubanj (*eng. draw works drum*),
- Izvor snage (*eng. power source*),
- Reduktor (*eng. reducer*),
- Kočnica (*eng. drum break*),
- Pomoćna kočnica (*eng. auxiliary drum brake*).

Uređaj se može napajati naizmjeničnom ili istosmjernom strujom kao i izravno spojiti s motorom s unutarnjim izgaranjem pomoću remena nalik metalnim lancima. Glavna kočnica, koja se ručno upravlja, može biti kočnica s trenjem, disk kočnica ili modificirana spojka. Na slici 46. prikazan je cijeli sustav za podizanje kolone bušnih cijevi.



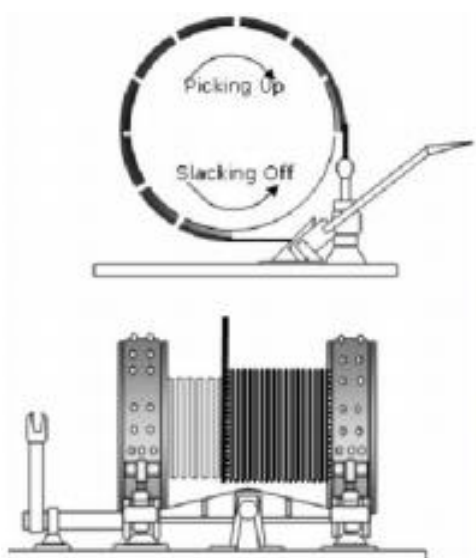
**Slika 46. Prikaz mehanizma vučnog bloka [13]**

U osnovi ovo je sustav pomičnih i nepomičnih kolotura koji ima prikladan prijenosni omjer kako bi se moglo manipulirati teškim alatom za bušenje. Čelično uže se namata i odmatata s bubnja odakle odlazi do vrha bušnog tornja gdje se nalazi sklop nepomičnih užnica, zatim povezuje pomični blok s kukom na koju je ovješeno alat te je na svom kraju pričvršćeno za konstrukciju tornja [13].

Na kraj užeta koji je pričvršćen za nosivu konstrukciju (*sidrište užeta*), spojen je osjetnik sile koji daje informaciju o trenutnom opterećenju užeta, a posredno tzv. *WoB*.

*WoB* je skraćenica (*eng. Weight on Bit*) u doslovnom prijevodu znači *težina na dlijetu*, a označava dio težine bušne kolone kojom je opterećeno dlijeto, postupak upravljanja tim parametrom je sljedeći: upravitelj spuštanja bušne kolone bilježi iznos *WoB* prije nego što će dovesti u kontakt dlijeto i dno bušotine kako bi započelo bušenje. Zatim se dlijeto polako spušta dok se ne ostvari kontakt dlijeta i dna bušotine. Nakon ostvarenja kontakta upravitelj nastavlja spuštati bušnu kolonu te se sve više sile težine kolone prenose na dlijeto. Kako se sve više težine kolone prenose na dlijeto parametar *WoB* ima sve manju vrijednost jer se užad koloturnog prijenosnika rasterećuje. Ako bi parametar *WoB* imao vrijednost nula to bi značilo da je sva težina bušne kolone opteretila dlijeto, a užad sustava za podizanje kolone bi bila potpuno rasterećena.

*WoB* je uz *RoP* (*eng. Rate of penetration*) što u prijevodu znači *brzina prodiranja dlijeta* jedan od dva glavna parametra kojima se prati i može utjecati na proces bušenja. Koji od ta dva parametra će biti mjerodavan za regulaciju bušenja se odlučuje na temelju geološkog sastava tla koje se buši, što se vidi iz filtrata isplake. Glavna kočnica sustava je često izvedena kao pojasna ili disk kočnica, a njome se upravlja preko poluge kako je prikazano na slici 47. Pomoćna kočnica je najčešće izvedena kao elektromagnetska ili hidraulična sa zadatkom da apsorbira kinetičku energiju alata kojeg se želi zaustaviti pri gibanju prema dolje [26].



**Slika 47. Pojasne kočnice bubnja s užetom [26]**



## 6.6. SPREMNIK ISPLAKE I PUMPA ISPLAKE

Spremnik za isplaku je kontejner s otvorenim vrhom, obično izrađen od četvrtaste čelične cijevi i čelične ploče za spremanje tekućine za bušenje. Spremnik isplake naziva se i jama od blata, kao što su nekada bile jame u zemlji. Spremnici za isplaku dijele se u:

- Kvadratne rezervoare,
- Konusne rezervoare.

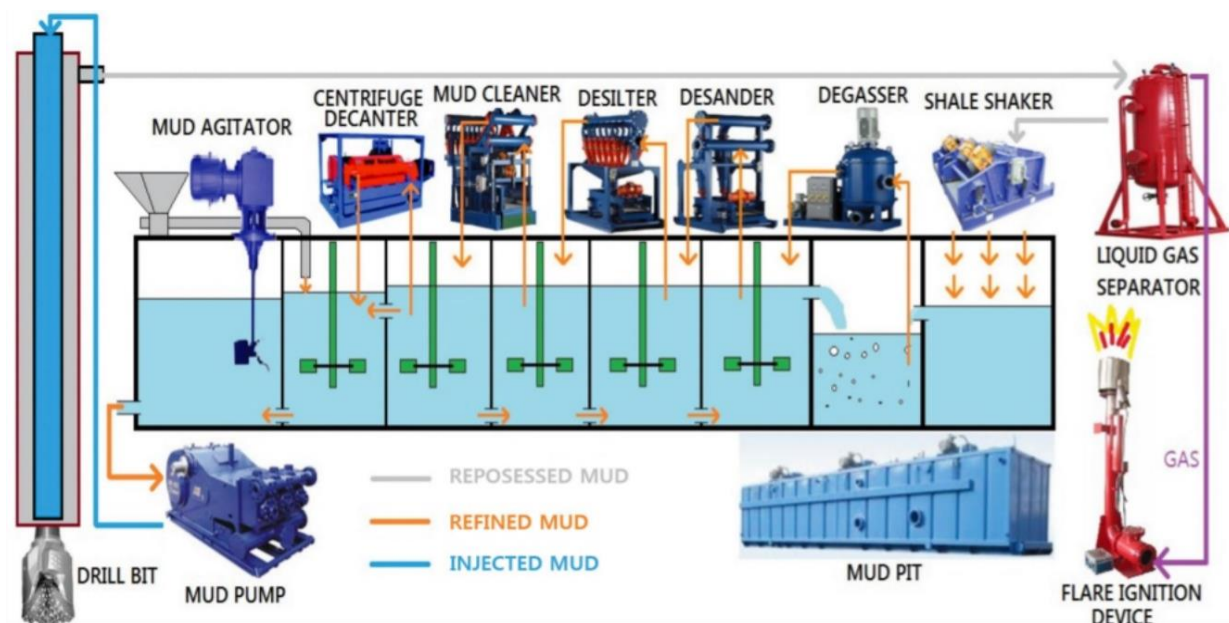
Ova podjela temeljena je prema razlici u obliku dna spremnika. Tijelo spremnika izrađeno je zavarivanjem čelične ploče u odjeljka, koristeći glatku konusnu strukturu ili valovitu strukturu ovisno o potrebi. Površina spremnika opremljena je cjevovodom za čišćenje površine i opreme na spremniku. Na dvostrane zaštitne šine ugrađuje se kuka sigurnog ovjesa.

Cjevovod je ugrađen u spremnik radi očuvanja topline zraka. Spremnici su obično otvoreni i imaju hodnike na vrhu kako bi radnik mogao pregledati razinu tekućine u spremnicima. Također je omogućen pristup drugoj opremi koja je montirana na vrhu. Spremnik blata se odvaja u različite odjeljke. Jedan odjeljak može sadržavati spremnik za taloženje, kako bi se pijesak i druge krute tvari u tekućini za bušenje otaložile prije nego što se tekućina ulije u sljedeći odjeljak. Cjevovod koji povezuje spremnike (*jame*) s isplačnim crpkama naziva se usisna linija. Centrifugalne pumpe mogu se gravitacijskim punjenjem napajati ili napuniti kako bi se crpkama blata postigla dodatna volumetrijska učinkovitost [13]. Na slici 48. prikazan je vanjski izgled cirkulacijskog sustava isplake.



Slika 48. Cirkulacijski sistem isplake [13]

Tankovi isplake igraju važnu ulogu u sustavu za kontrolu krutih tvari. Tankovi isplake osnova su opreme za kontrolu krutih tvari, a ujedno i nosilac tekućine za bušenje. Na slici 49. prikazan je unutarnji shematski presjek spremnika isplake.



**Slika 49. Shematski prikaz spremnika isplake [13]**

Oprema za kontrolu krutih tvari koja je montirana na vrhu rezervoara za blato uključuje sljedeće:

- Mješalicu blata (*eng. mud agitator*),
- Dekanterska centrifuga (*eng. centrifuge decanter*),
- Čistač blata (*eng. mud cleaner*),
- Desander (*naprava koja odvaja pijesak iz sustava*),
- Desilter (*naprava koja odvaja mulj iz sustava*),
- Otplinjač (*eng. degasser*),
- Uređaj za pripremu i čišćenje isplačnih fluida (*eng. shale shaker*),
- Vakumska pumpa (*eng. vacuum pump*).

Bazen za pripremu i obradu isplake sastoji se iz 2 bazena. Veći dio (3/4) služi za obradu isplake, a manji dio za pripremu reagenasa. Bazen je opremljen mehaničkim i hidrauličkim mješalicama. Također u sustavu imamo bazen za pročišćavanje isplake od strane stijena i plinova. Uz bazen su smješteni degazatori, vibrosita, hidrocionid i centrifuge.

Tekućina za bušenje uljeva se u sustav neposredno nakon što se vrati na površinu bušotine, tekućina za bušenje s određenim količinama krute tvari ulazi u spremnik isplake za



daljnje pročišćavanje. Broj spremnika za isplaku potreban na postrojenju za bušenje ovisi o dubini bušotine, kao i o potrebama bušenja [13].

Uređaj za kontrolu krutih tvari, usisavač i odmašćivač obično su montirani zajedno na istom spremniku isplake kao i prvi spremnik na naftnom polju, a desilter i centrifuga na drugom spremniku.

Pumpa za isplaku je klipna pumpa s povratnim klipom dizajnirana da cirkulira tekućinu za bušenje pod visokim tlakom. Pumpa za blato važan je dio opreme koja se koristi za bušenje. Crpka s dva cilindra za tekućinu, naziva se dupleksna pumpa. Dok crpka s tri cilindra za tekućinu, se naziva se triplex pumpa. Dupleksne pumpe obično su dvostrukog djelovanja, a triplex crpke obično su jednostruke. Komercijalno su dostupne i pumpe sa šest komora.

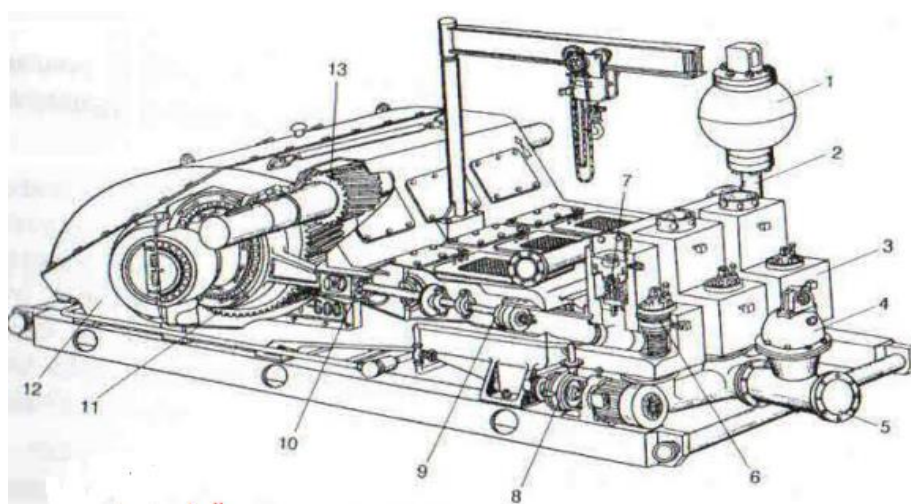


**Slika 50. Pumpa blata [13]**

Odabrana pumpa za isplaku trebala bi biti sposobna osigurati protok isplake koji je dovoljno visok u svim fazama bušenja. Svojstva isplake koja utječu na vrstu pumpe uključuju težinu isplake i viskoznost. Isplaka je vrlo važna jer osim što odnosi izbušeni materijal, također podmazuje bušeću glavu te sprečava eksploziju. Pošto sadrži kemikalije, otrovna je i skupa, kruži u sustavu i nastoji se ne proliti niti jedna kap. Isplachni fluidi koj se koriste pri rotacijskom bušenju moraji imati svojstva:

- Da čiste čelo kanala bušotine od razorenog materijala,
- Hlade i podmazuju dljeto,
- Stabiliziraju zidove kanala bušotine u zonama mekih i rastresitih slojeva,
- Spreče prodor okolnog fluidau bušotinu,
- Prenesu hidrauličku energiju od pumpe na površini do motora na dnu bušotine,
- Energijom mlaza osiguraju dodatno razaranje stjenskog materijala,
- Osiguraju brzo i lako taloženje produkata razaranja, koji nastaju tokom bušenja.

Minimalni potreban protok isplake iz pumpe za blato jednak je minimalnoj potrebnoj brzini isplake koja je kratica najveće moguće površine poprečnog presjeka prstenastog prostora tijekom bušenja. Minimalni potrebni protok isplake koji zahtijeva geometrija bušotine iz pumpe za isplaku procjenjuje se na temelju minimalne potrebne brzine isplake, odabrana pumpa za isplaku trebala bi biti u stanju pružiti dovoljno jak tlak da nadvlada ukupni gubitak tlaka i pad tlaka u cirkulacijskom sustavu na ukupnoj dubini rupa [13]. Na slici 51. prikazna je shema trokclipne jednoradna isplačna pumpa



**Slika 51. Trokclipna jednoradna isplačna pumpa [28]**

Na ovoj slici možemo vidjeti djelove trokclipna jednoradna isplačna pumpa kao što su:

- 1 - Komora sa dijafragmom,
- 2 - Izlazni kolektor,
- 3 - Hidraulička kutija,
- 4 - Usisni kompenzator,
- 5 - Usisni kolektor,
- 6 - Usisni ventil,
- 7 - Potisni ventil,
- 8 - Uljna pumpa za podmazivanje,
- 9 - Klipnjača sa klipom,
- 10 - Unakrsna glava,
- 11 - Bregasta osovina,
- 12 - Kućište pumpe,
- 13 - Transmisijska osnove.

## 6.7. UREĐAJ ZA KONTROLU KRUTIH TVARI

Ovaj uređaj je dio opreme za bušenje koja se koristi u mnogim industrijama, kao što su čišćenje ugljena, rudarstvo, bušenje nafte i plina. Oni su prva faza sustava za kontrolu krutih tvari na postrojenju za bušenje, a koriste se za uklanjanje krutih čestica iz tekućine za bušenje. Tekućina za bušenje je sastavni dio procesa bušenja i između ostalih funkcija, služi za podmazivanje i hlađenje dlijeta, kao i za uklanjanje otpadnih reznica iz provrta. Te tekućine su mješavina različitih kemikalija u vodenoj ili uljnoj otopini i vrlo su skupe. Iz oba razloga zaštite okoliša i radi smanjenja troškova operacija bušenja, gubici tekućine prilikom bušenja minimiziraju se na najmanju moguću razinu. Ovi uređaji su primarni alat za odvajanje krutih tvari na postrojenju. Nakon povratka na površinu bušotine, iskorištena tekućina za bušenje dovodi se izravno u uređaj za kontrolu krutih tvari gdje se počinje obrađivati. Nakon obrade pomoću uređaja tekućina za bušenje se taloži u spremnike blata. Čvrste tvari koje je uklonio uređaj za kontrolu krutih tvari izbacuju se iz sustava u poseban spremnik gdje čekaju daljnju obradu ili zbrinjavanje.

Prilikom bušenja na teren izlaze stručnjaci koji analiziraju uzorke stijena, izlaze i provjeravaju ima li uzoraka stijena koje su cirkulirale na dnu. Oni razdvajaju stijenu od tekućine za bušenje i odnose je u laboratorij na licu mjesta, gdje isušuju uzorke i označavaju ih prema dubini. Zatim pregledavaju uzorke i analiziraju kakvu stijenu imaju na određenoj dubini. Ovo pomaže odrediti s kojom se dubinom stijena susrela. Zapisivanje uzoraka isplake je stvaranje detaljnog zapisa bušotine ispitivanjem odlomljenih komada stijena koje su na površinu dovedene cirkulacijom sustava. Zapisivanje uzorka isplake obično izvodi treća neovisna tvrtka. To vlasnicima i proizvođačima bušotina pruža informacije o litologiji i sadržaju tekućine u bušotini tijekom bušenja. Povijesno je to najranija vrsta dnevnika bušotina [13]. Na slici 52. prikazan je uređaj za kontrolu krutih tvari sa svim radnim komponentama.



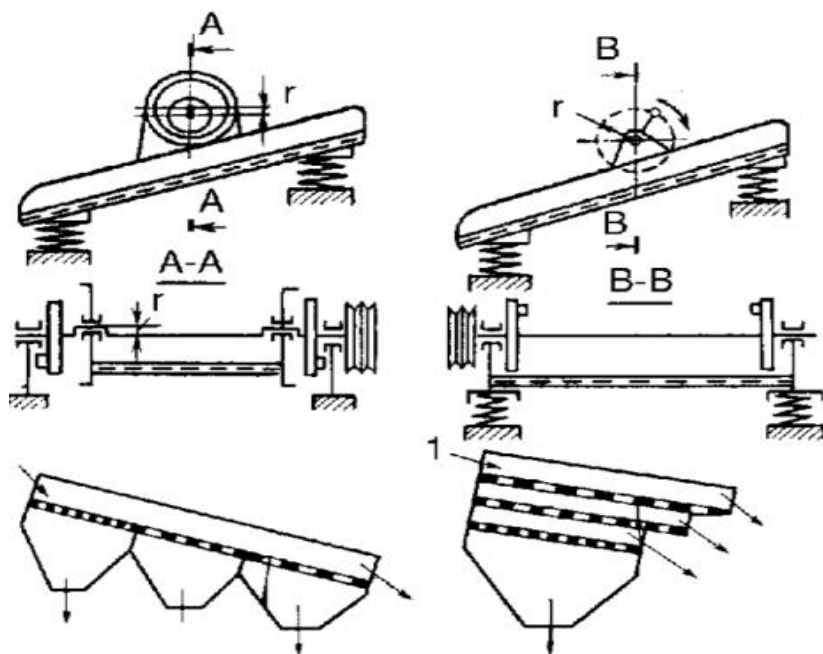
**Slika 52. Uređaj za kontrolu krutih tvari [13]**

Uređaj za kontrolu krutih tvari sastoji se od sljedećih dijelova:

- Spremnik - koji se obično naziva *baza*, služi i kao platforma za tresalicu i posudu za prikupljanje tekućine koju obrađuju zasloni za pretresanje. Spremnik se može naručiti prema potrebama tekućine za bušenje. U različite dubine može se smjestiti veća količina tekućine za bušenje, kao i imati različite otvore za povrat u sustav blata.
- Uložak - ulagač je u osnovi sakupljač tekućine za bušenje prije nego što ga mlaznica obrađuje, može se isporučiti u više različitih oblika i veličina kako bi se prilagodio potrebama sustava blata.
- Košarica za zaslon – to je najvažniji dio stroja, odgovoran je za prijenos intenziteta tresenja stroja. Sve to mora imati visoku sigurnost, uklanjajući krute tvari u spremniku i omogućavajući lak rad i održavanje stroja. Različite marke uređaja imaju različite metode ispunjavanja ovih zahtjeva korištenjem specijaliziranih uređaja za zatezanje zaslona, gumenim brtvama oko zaslona, ojačavanjem košara za ograničenje fleksibilnosti, gumenim nosačima s plovkom, a ne s oprugama i selektivnim postavljanjem vibratora.
- Mehaniziran košare - koš za potresanje mora biti sposobna mijenjati svoj kut kako bi se prilagodili različitim količinama protoka tekućina za bušenje i kako bi se maksimizirala upotreba potresnog korita, ovo mjesto u kojem mehanizam za ribolov igra važnu ulogu.
- Vibracijsko sito - ovo je uređaj koji primjenjuje vibracijsku silu. Vibracijski uređaj je specijalizirani motor izgrađen za potrebe vibriranja. Dok sadrži elektromotor za osiguravanje rotacijskog gibanja, koristi se skup ekscentričnih utega koji daju silu u svim smjerovima. To je ono što nam daje linearno kretanje, tresenje košarice [13].

Na slici 53. prikazana je shema vibracijskog sita najvažnije komponente u uređaju za kontrolu krutih tvari. Vibracijska sita dijele se na dvije osnovne vrste:

- Jednoslojna,
- Višeslojna.

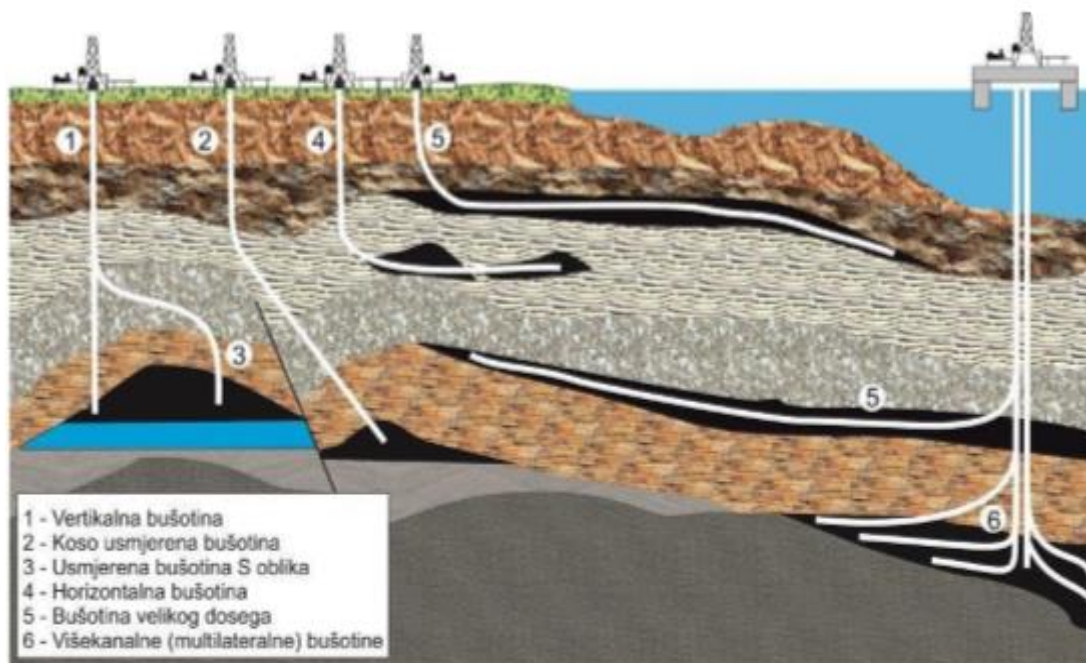


**Slika 53. Jednoslojno i višeslojno vibracijsko sito [28]**

Čišćenje isplake se ostvaruje postepenim uklanjanjem čestica stjenškog materijala kao i drugih štetnih materijala koji se mogu pojaviti u isplaci. Početno čišćenje se izvodi sa vibracijskim sitom [28].

## 7. TEHNOLOŠKA OBILJEŽJA IZRADE NAFTNIH BUŠOTINA

Istraživanje i eksploatacija ležišta ugljikovodika uključuju izradu i opremanje dubokih naftnih i plinskih bušotina. Izrada vertikalnih bušotina moguća je primjenom klasičnog sastava alata za bušenje. Nakon izrade pojedine dionice kanala bušotine, niz alata za bušenje izvlači se na površinu te se u bušotinu spušta niz zaštitnih cijevi odgovarajućeg promjera dok se izacijevni prostor popunjava cementom. Nakon što se cement stvrdne, na određenu tlačnu čvrstoću bušenje se nastavlja novim sastavom alata za bušenje do sljedeće planirane dubine. Vertikalna bušotina omogućava pristup rezervama nafte i plina koje se nalaze na određenoj dubini direktno ispod ušća bušotine, te je za eksploataciju ugljikovodika iz prostorno raširenih ležišta potreban velik broj vertikalnih bušotina. Međutim, kanal bušotine može biti otklonjen od vertikale odnosno koso usmjeren ili horizontalan. Također, moguće je i iz postojećeg kanala izraditi novi kanal bušotine (*bočne bušotine*) ili više kanala (*višekanalne bušotine*). Izradom usmjerenih bušotina povećava se duljina kanala koji je u kontaktu s ležištem i/ili povezuje nekoliko odvojenih ležišta. Kod vertikalnih bušotina dubina i duljine kanala su jednake, a kod usmjerenih bušotina duljina kanala je veća od njegove vertikalne dubine. Dubina kanala bušotine je važna za određivanje tlaka na dnu bušotine, a duljina kanala za određivanje duljine alata za bušenje. Na slici 54. prikazani su tipovi bušotina s obzirom na položaj kanal u podzemlju.



Slika 54. Tipovi bušotina s obzirom na položaj kanal u podzemlju [5]

Izrada usmjerenih bušotina, a posebno bušotina sve većeg horizontalnog dosega u stalnom je porastu upravo zahvaljujući razvoju telemetrijskih sustava s prijenosom podataka preko impulsa tlaka isplake. Navedene telemetrijske sustave koriste velike naftne kompanije, a kod nas je ovaj sustav prvi put primijenjen 1993. godine tijekom izrade prve horizontalne bušotine [5]. Pomoću telemetrijskog sustava mogu se dobiti, u stvarnom vremenu, podaci o:

- Položaju kanala bušotine,
- Kut otklona,
- Azimut i položaj lica alata,
- Svojstvima probušenih stijena,
- Gustoća,
- Radioaktivnost,
- Otpornost,
- Šupljikavost,
- Opterećenje na dlijeto,
- Zaokretni moment,
- Moment savijanja,
- Temperatura,
- Tlak,
- O naslagama u smislu otkrivanja područja sa povećanim slojnim tlakom.

Prednosti dobivenih podataka u realnom vremenu očituju se u sljedećem:

- Bitno se smanjuje rizik prihvata alata za bušenje,
- Povećava se mehanička brzina bušenja,
- Pravovremeno se otkrivaju naslage s povećanim slojnim tlakom,
- Pravovremeno se uočavaju oštećenja dlijeta ili motora,
- Može se precizno odrediti dubina postavljanja pete kolone zaštitnih cijevi.

Na slika 55. prikazan je sklop za usmjereno bušenje s osnovnim komponentama koje ga izgrađuju.





**Slika 55. Sklop za usmjereno bušenje s osnovnim komponentama [5]**

Većina usmjerenih bušotina ima uvodnu dionicu koja je vertikalna. Na određenoj dubini, koja se zove točka sretanja započinje se sa povećanjem kuta otklona i skretanjem kanala bušotine od vertikale u željenom smjeru odnosno prema i kroz ležište ugljikovodika [5].

## 7.1. NAČINI USMJERAVANJA KANALA BUŠOTINE

Tijekom izrade usmjerenih bušotina potrebno je usmjeriti dlijeto u smjeru u kojem se želi bušiti i održavati projektirane parametre putanje kanala bušotine kako bi se postigao konačni cilj izrade bušotine odnosno doseglo ciljano ležište ugljikovodika. Usmjeravanje dlijeta, a time i kanala bušotine može se postići na različite načine odnosno korištenjem:

- Klina za skretanje,
- Mlaza isplake,
- Rotirajućeg dubinskog bušaćeg sklopa,
- Dubinskog motora i kosog prijelaza,
- Rotirajućeg upravljivog sustava.

**Klin za skretanje** je jedan od najstarijih načina za skretanje kanala od vertikale, a uveden je u praksu bušenja početkom 1930-tih godina. Kod korištenja klina bušaći sklop se izvlači na površinu, a u bušotinu se ugrađuje klin za skretanje i orijentira se u željenom smjeru. Nakon postavljanja klina u bušotinu se spušta alat za izradu zakrivljenog dijela kanala bušotine.



Skretanje kanala bušotine djelovanjem **mlaza isplake** kojim se erodira stijena na dnu kanala učinkovito je samo kod bušenja mekih naslaga pa se danas rijetko koristi. Tijekom mlaznog bušenja koristi se trožrvanjsko dlijeto s jednom produljenom mlaznicom koja se orijentira u željenom smjeru skretanja putanje kanala bušotine.

**Rotirajući dubinski bušači sklop** se sastoji od: dlijeta, teških šipki, stabilizatora, proširivača, prijelaznih komada i drugih alatki koje se nalaze ispod bušaćih šipki. U početcima, usmjereno bušenje je uključivalo korištenje jednostavnog dubinskog bušačkog sklopa te se mijenjanjem parametara kao što su: opterećenje na dlijeto, broj okretaja dlijeta i same geometrije bušačkog sklopa usmjeravalo dlijeto u željenom smjeru. Mijenjanjem pozicije stabilizatora u sastavu dubinskog bušačkog sklopa, mijenja se bočna sila koja djeluje na dlijeto i bušači sklop čime se omogućava povećavanje, smanjenje ili zadržavanje postojećeg kuta otklona. Ovisno koji dio putanje kanala se izrađuje koristi se drugačiji sklop:

- Sklop za povećanje kuta otklona,
- Sklop za zadržavanje kuta otklona
- Sklop za smanjenje kuta otklona.

Učinkovitost primijenjenog dubinskog bušačkog sklopa u izradi usmjerenog kanala bušotine ovisi o:

- Krutosti dubinskog bušačkog sklopa,
- Položaju stabilizatora,
- Broju okretaja dlijeta,
- Opterećenju na dlijeto,
- Promjeru bušotine,
- Nagibu kanala bušotine,
- Svojstvima stijena.

**Dubinski motor i kosi prijelaz** - razvojem pouzdanih dubinskih motora početkom 1960-tih godina došlo je do napretka tehnologije izrade usmjerenih bušotina. Iznad motora se nalazi kosi prijelaz koji usmjerava dlijeto u smjeru različitom od osi kanala bušotine. Mijenjanjem načina rada iz kliznog u rotirajući, može se kontrolirati putanju kanala bušotine te je usmjeriti u željenom smjeru. U kliznom načinu rada, dlijeto se najprije usmjeri u željenom smjeru, a zatim se cirkulacijom isplake prenosi snaga na dlijeto, bez rotacije bušaćih šipki. Kad se postigne željeni smjer, taj se smjer održava rotiranjem cijelog niza alata pomoću vršnog pogona. Sila natega je mnogo veća u slučaju kad bušaće šipke ne rotiraju što je slučaj kod ugradnje šipki ili kod usmjerenog bušenja u kliznom načinu rada.

Koeficijent trenja uslijed klizanja obično je u rasponu od 0,30 do 0,50 dok je tijekom rotacije znatno manji i iznosi od između 0,03 i 0,07. To je ujedno i glavni razlog popularnosti rotirajućih upravljivih sustava.

**Rotirajući upravljivi sustavi**, uvedeni su u praksu 1993. godine, omogućavaju izradu usmjerenih bušotina uz kontinuiranu rotaciju cijelog niza bušačkih alatki s površine, pri čemu nije potrebno izrađivati bušotinu kliznim načinom. Njihova prednost se očituje u poboljšanom čišćenju kanala bušotine uslijed rotacije, izradi kanala bušotine ujednačenog promjera uz bolju orijentaciju u prostoru. Rotirajućim upravljivim sustavom se upravlja na način da se prenosi informacija s površine pomoću oscilacija tlaka u stupcu isplake. Za usmjeravanje putanje kanala bušotine koriste se dvije metode:

- Metoda guranja dlijeta,
- Metoda usmjeravanja dlijeta.

Kod metode guranja dlijeta, iznad dlijeta se nalazi alatka s papučama na vanjskoj strani. Papuče se aktiviranjem odmiču od tijela alatke i oslanjaju o stijenku kanala bušotine te guraju dlijeto na suprotnu stranu uzrokujući promjenu smjera dlijeta odnosno kanala bušotine. Kod metode usmjeravanja dlijeta, moguće je mijenjanje smjera dlijeta u odnosu na smjer ostalih alata savijanjem, otklanjanjem osovine s kojom je dlijeto povezano, a koja se nalazi unutar nerotirajućeg kućišta.

Prednosti koje se ostvaruju korištenjem rotirajućeg upravljivog sustava u odnosu na bušenje u kliznom načinu rada su:

- Manji broj manevara jer se koriste dlijeta s fiksnim rezačima (*PDC dlijeta*) koja su otpornija od žrvanjskih i imaju dulji radni vijek,
- Učinkovito čišćenje kanala bušotine, zbog kontinuirane rotacije niza pri većim brzinama, što rezultira manjim otporima protjecanju isplake, većem prijenosu opterećenja na dlijeto te mogućnošću izrade kompleksnijih bušotina,
- Veću brzinu bušenja zbog manje torzije i natega,
- Izradu kanala ujednačenog promjera što olakšava provođenje mjerenja i dobivanje točnijih podataka o stijenama te ugradnju zaštitnih cijevi ili tubinga, a ujedno rezultira i manjom količinom otpadne isplake.

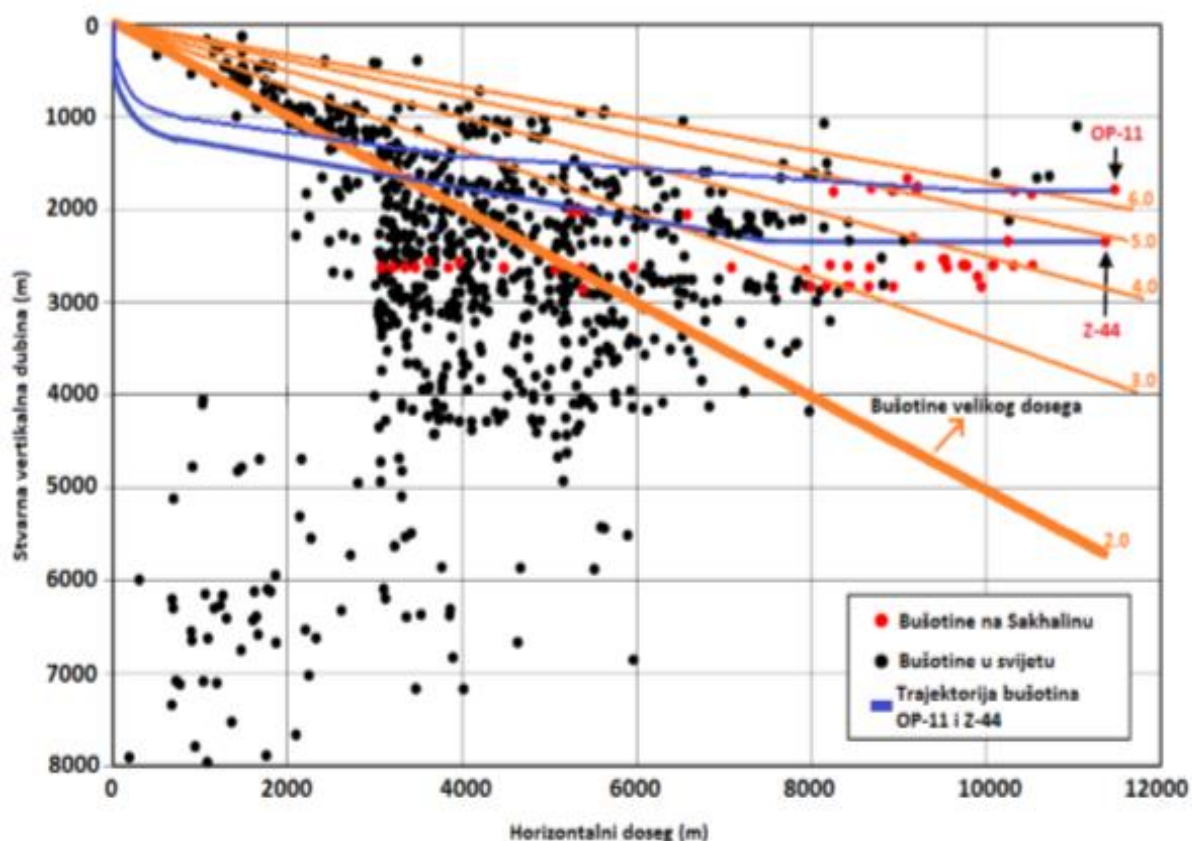
Na tržištu postoji više proizvođača i tipova rotirajućih upravljivih sustava za usmjereno bušenje. Oni uglavnom imaju iste komponente, a razlikuju se u načinu skretanja kanala bušotine [5].

## 7.2. TEHNOLOGIJA IZRADE HORIZONTALNIH BUŠOTINA VELIKOG DOSEGA

Planiranje i izrada bušotina velikog dosega je izrazito kompleksna, te zahtijeva istovremenu primjenu rotirajućih upravljivih sustava i telemetrijskih sustava. Razlozi izrade bušotina velikog dosega su:

- Povezivanje više izoliranih ležišta samo jednom bušotinom,
- Dosezanje više rasprostranjenih ležišta s jedne lokacije,
- Izbjegavanje lociranja bušotina u ekološki osjetljivim područjima.

Bušotine velikog dosega imaju veliku mjerenu duljinu kanala bušotine, danas već preko 13 km, na relativno maloj dubini. Trenutno najdulja bušotina velikog dosega u svijetu je bušotina *O-14* koja je 2015. godine izbušena u Rusiji. Duljina kanala bušotine *O-14* iznosi 13500 m s horizontalnim dosegom od 12033 m. Na slici 56. vidljiv je odnos mjerene duljine kanala i stvarne vertikalne dubine kanala bušotine.



Slika 56. Prikaz odnosa mjerene duljine kanala i stvarne vertikalne dubine kanala bušotine [5]

Izrada kanala bušotina velikog dosega zahtijeva djelotvornu kontrolu kuta otklona i azimuta koji se, uz promjenu kuta otklona, mijenja tijekom izrade kanala bušotine što omogućava operatorima da povežu više ležišta s jednom bušotinom. Jedan od najvećih izazova za izradu bušotina velikog dosega su velike vrijednosti torzije i natega unutar zakrivljenih dionica kanala bušotine jer, među ostalim, otežavaju ugradnju kolona zaštitnih cijevi u bušotine dulje od 8000 m. Zbog smanjenja natega tijekom ugradnje kolona zaštitnih cijevi promjera 0,2445 m i lajnera promjera 0,1778 m u praksu je uvedena metoda ugradnje plutajuće kolonae zaštitnih cijevi koja podrazumijeva podjelu niza zaštitnih cijevi u dvije sekcije, gornju ispunjenu isplakom koja daje težinu potrebnu za ugradnju kolone te donju ispunjenu zrakom koja omogućava plutanje kolone. Pravilan odabir tipa isplake i njenih svojstava jedan je od ključnih čimbenika koji utječu na uspjeh izrade bušotina velikog dosega. Dizajniranje isplake za različite intervale kanala bušotine zahtijeva sveobuhvatan inženjerski pristup radi prevladavanja mogućih problema kao što su:

- Mala razlika između slojnog tlaka i tlaka frakturiranja,
- Otežano održavanje odgovarajuće ekvivalentne cirkulacijske gustoće,
- Neadekvatno iznošenje krhotina razrušenih stijena,
- Povećane vrijednosti torzije i natega,
- Otežano održavanje stabilnosti kanala bušotine,
- Gubljenje isplake,
- Prihvat alata sustava,
- Mogućnost taloženja u kanalu bušotine.

Važnost izbora isplake za ispiranje tijekom izrade bušotine velikog dosega povećava činjenica da će potencijalno problematične formacije u većoj duljini i kroz dulji vremenski period biti izložene isplaci. Izbor tipa isplake za ispiranje kanala bušotine velikog dosega je u biti isti kao i za klasične bušotine. U početku se mora napraviti izbor između uljne isplake (*na bazi mineralnog ulja*) odnosno inverzne emulzijske isplake, sintetičke isplake (*na bazi sintetičkih spojeva: esteri, eteri, olefini*) i isplake na bazi vode. Gdje je to moguće, za ispiranje bušotina velikog dosega poželjno je korištenje inverzne emulzijske isplake. Inverzna emulzijske isplake su uspješno korištene tijekom izrade bušotina velikog dosega u mnogim područjima svijeta. U slučajevima ograničenja u vezi zaštite okoliša koja prijeći upotrebu bilo kojeg tipa uljne isplake, treba razmotriti korištenje sintetičke isplake [5].

Ukoliko ekološka ili logistički ograničenja u potpunosti onemogućavaju korištenje uljne ili sintetičke isplake, mora se izabrati odgovarajući tip isplake na bazi vode. Najpogodnije isplake na bazi vode, kada je potrebna inhibicija hidratacije glinovitih stijena su:

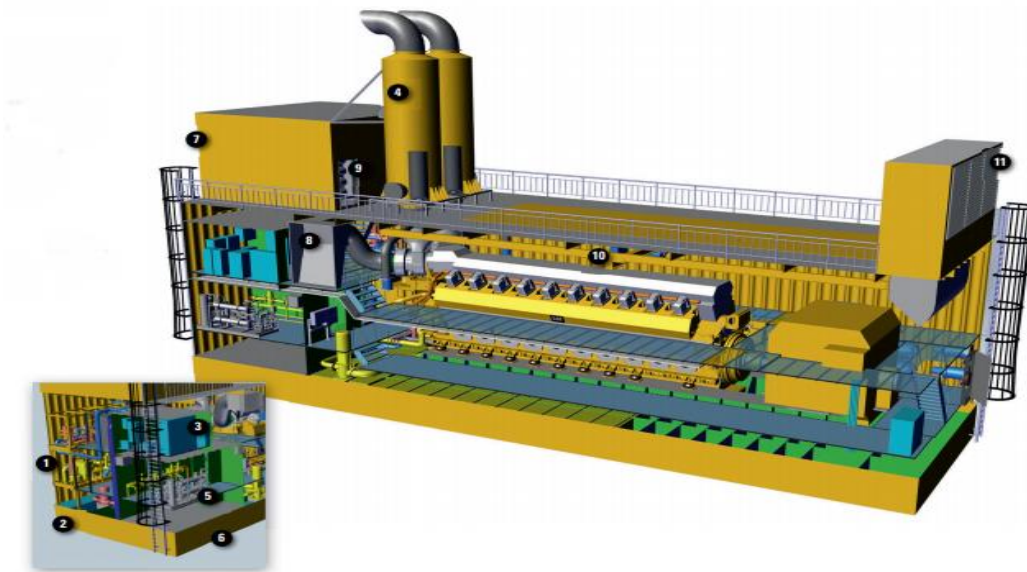
- Kalijska isplaka,
- Ne-dispergirana isplaka,
- Polimerne isplake koji sadrže glikol ili silikate.

U ostalim slučajevima, može se uzeti u obzir korištenje polimerne isplake s malo čvrstih čestica ili isplake s miješanim metalnim hidroksidima uz dodatak odgovarajućeg podmazivača [5].

## 8. IZVOR NAPAJANJA NAFTNIH PLATFORMI

Izvor napajanja na naftnim platformama je potreban pri radu uređaja za bušenje i glavnih komponenti sustava, kao što je mehanizam rada dizalice, pumpi isplake, okretni stol, i motori raznih pomoćnih uređaja, kompresor zraka, sigurnosni sistem, centrifugalna pumpa, svijetla itd.

Motori s unutarnjim izgaranjem ili turbine su izbor napajanja radnih uređaja na platformama. Slika 57. prikazan je motor s unutarnjim izgaranjem koji je čest izvor napajanja.



**Slika 57. Prikaz motora s unutarnjim izgaranjem koji je izvor napajanja [34]**

Ovo je prikaz *Caterpillar* motora koji se ugrađuje kao izvor napajanja na naftnim platformama sa sastoji se 11 osnovnik dijelova: modul za ulje/ulje za hlađenje, *MDO* tank, soba za električnu opremu, ispušni prigušivač, dovod goriva/modul za povišenje goriva, spremnik sirove nafte, ventilacija van, dovod zraka za izgaranje, sustav za gašenje požara vodom, servisna dizalica i ventilacija.

Ovaj tip izvora napajanja naftnih platformi, djeluje u okruženju u kojem stanke nisu opcija, oprema i sustavi moraju raditi. Operacije rada ovog sustava zahtijevaju najvišu razinu učinkovitosti i pouzdanosti. Udaljene lokacije na moru donose tradicionalna rješenja za napajanje električnom energijom s velikim izazovan za implementaciju sustava koji može pružiti pouzdan, trajan izvor niske cijene energije. S modulom za proizvodnju energije novi moderni sustavi osiguravaju tehnologiju i sustave za udovoljavanje operativnim standardima i operacijama s niskim troškovima [34].

Nakon što se mehanička energija proizvede iz te energija generator proizvodi električnu energiju. Najzastupljenija je izvedba generatora kao rotacijskog stroja, koji se sastoji od nepokretnog vanjskog dijela (*statora*) unutar kojeg se nalazi okretni dio (*rotor*) koji se okreće vanjskim pogonskim strojem. Prema vrsti električne struje koju proizvode mogu biti istosmjerni i izmjenični. Izmjenični generatori se dodatno dijele na asinkrone i sinkrone, te također na jednofazne i višefazne izmjenične generatore. Generator se sastoji od izvora magnetskog polja, te vodiča koji se kreće kroz to magnetsko polje tako da siječe silnice magnetskog polja. Pri tome se u vodiču inducira elektromotorna sila, koja je razmjerna gustoći magnetskog polja i brzini vodiča, a ovisna je i o kutu po kojim vodič siječe magnetske silnice. Kako bi se postigli veći inducirani naponi umjesto pojedinačnog vodiča se koristi zavojnica, dakle niz serijski spojenih vodiča koji se vrte kroz nejednoliko magnetsko polje.

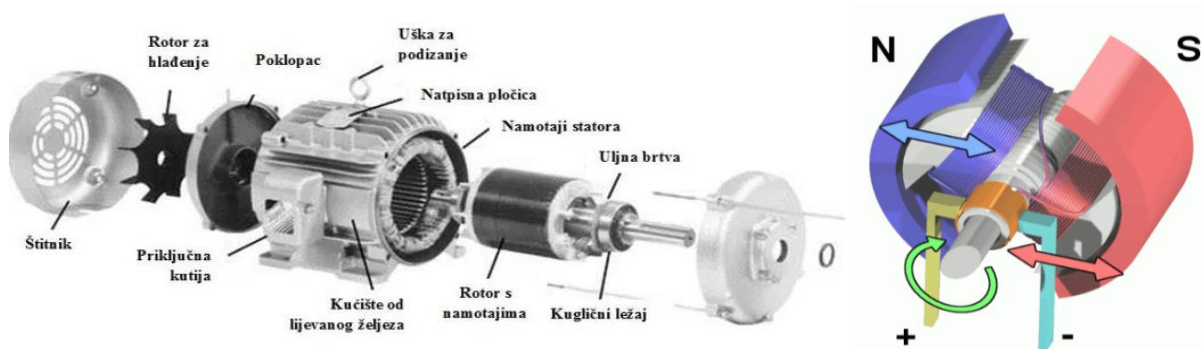
Na naftnim platformama u sustavu kao izvor napajanja naftnih platformi se moguće je korištenje dizel generatora koji je kombinacija dizelskog motora i električnog generatora za proizvodnju električne energije.

Dizelski generatori koriste se na mjestima bez povezivanja na električnu mrežu kao što je naftna platforma ili brod. Pravilno dimenzioniranje dizelskih agregata je presudno kako bi se izbjeglo nisko opterećenje ili manjak snage [13]. Na slika 58. prikazan je generator koji služi za opskrbu naftne platforme električnom energijom.



**Slika 58. Prikaz generatora koji služi za opskrbu električne energije [13]**

Nakon što je generator proizveo električnu energiju ona se dalje transferira u mrežu potrošača koja opskrbljuje cijeli sustav. U sustavu elektromotor je električni stroj koji proizvedenu električnu energiju u generatoru pretvara u mehaničku energiju. Električni motori mogu se napajati iz izvora istosmjerne struje ili iz izvora izmjenične struje, kao što su električna mreža, pretvarači ili električni generatori. Električni generator mehanički je identičan električnom motoru, ali djeluje u obrnutom smjeru, pretvarajući mehaničku energiju u električnu. Elektromotori mogu se klasificirati s obzirom na vrstu izvora energije, unutarnju konstrukciju, primjenu i vrstu izlaznog gibanja. Osim izmjeničnih i jednosmjernih struja, motori mogu biti s četkicama ili bez četkica, mogu biti u različitim fazama (*jednofazni, dvofazni ili trofazni*), mogu biti zračni ili tekućinski hlađeni. Motori opće namjene sa standardnim dimenzijama i karakteristikama pružaju prikladnu mehaničku snagu za industrijsku upotrebu. Elektromotori u sustavu služe za pogon ventilatora, puhala i pumpa, alatnih strojeva itd. Na slika 59. vidimo unutarnji i vanjski izgled elektromotor [35].

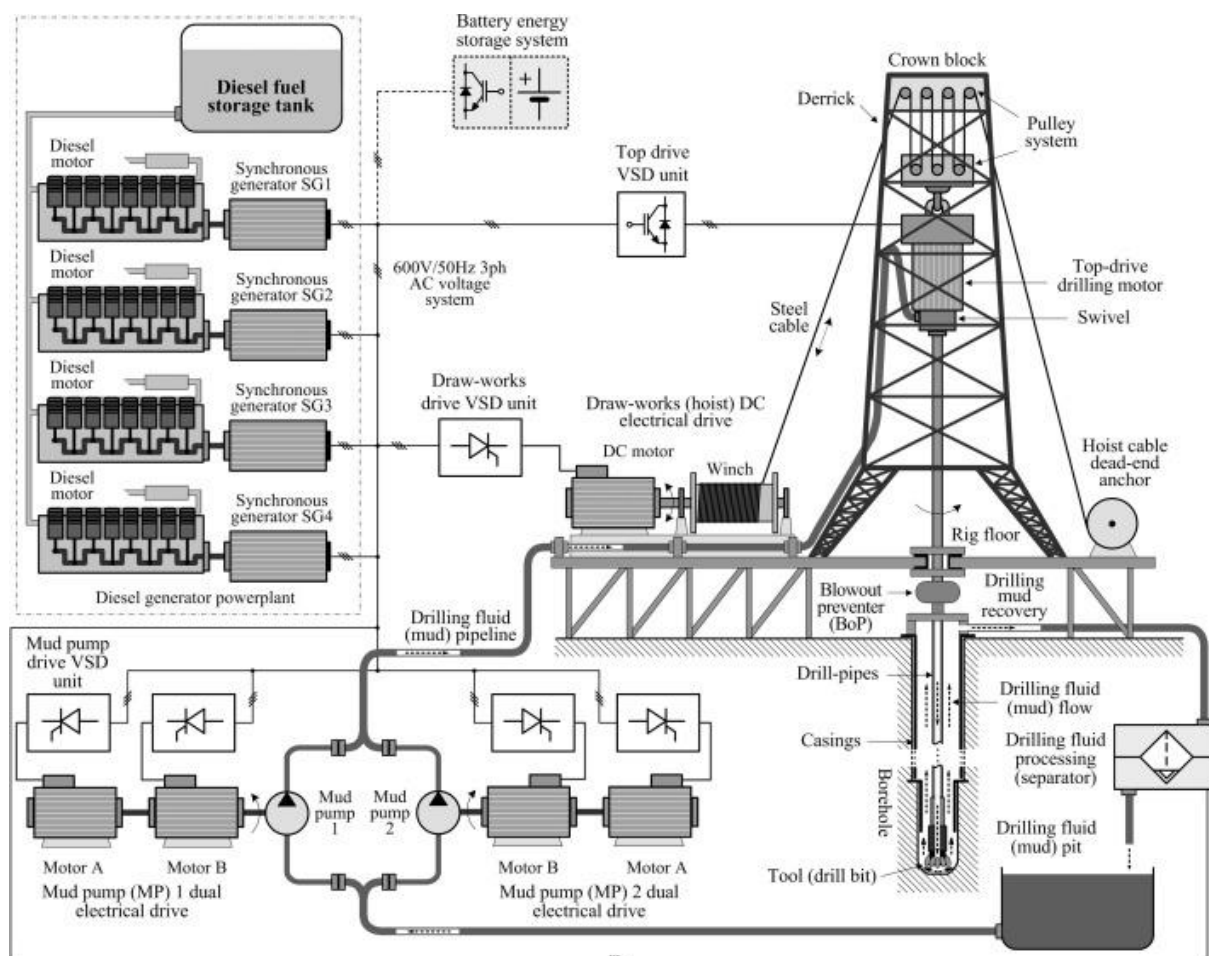


**Slika 59. Elektromotor [35]**

Elektromotor ima plastični rotor namijenjen za cirkulaciju zraka kojim se hladi tijekom rada. Put kojim zrak cirkulira može biti napunjen česticama prašine i prljavštine, što ograničava cirkulaciju zraka. Naslage prljavštine tijekom vremena stvore *izolaciju* koja uzrokuje pregrijavanje i oštećenje ožičenja. Osim ovog problema elektromotor može imati i druge poteškoće u radu. Elektromotori za industrijsku primjenu su trofazni, pa je potrebno uravnoteženje između faza i amplitude električne struje. Neuravnotežena struja će dovesti do električno uzrokovanih mehaničkih vibracija. Istosmjerni motori imaju dodatan problem, s obzirom na to da imaju kontrolu brzina vrtnje preko reostata ili frekventnog kontrolera, velika je mogućnost rada stroja u zoni rezonancije. Vibracije uzrokuju i necentriranost agregata, rotorski sklop u debalansu, oštećeni ležajevi te oštećeni temelji ili nosači elektromotora položeni na temelje. Također se može desiti da se elektromotor ne uključuje [35].



Uzrok ove situacije su najčešće pregorjeli osigurači ili nedostatak napajanja putem kabela. Rjeđi uzrok mogu biti neodgovarajuće spojene faze, oštećena sklopka, labavo spojeni kabele radi kojih nastane otvoreni strujni krug, kratki spoj u statoru ili mehanička oštećenja dijelova elektromotora [35]. Ove tri komponente: elektromotor, generator i dizelmotor se nalaze u svim postrojenjima kao izvor napajanja naftnih platformi. Slika 60. prikazuje detaljan shematski izgled sustava opskrbe električnom energijom na naftnoj platformi.



**Slika 60. Shematski prikaz postrojenja za napajanje električnom energijom [36]**

## 9. SIGURNOSNI SUSTAVI NAFTNIH PLATFORMI

Platforme i njihove popratne instalacije predstavljaju kritičnu infrastrukturu koja je izložena različitim okolnim opasnostima. Opasnosti na platformama mogu biti sudar ili udar plovniha objekata, ribolovne aktivnosti, teroristički i piratski napadi, što za posljedicu može imati oštećenje infrastrukture te ugrožavanje zdravlja i života osoblja na platformi. Sustav nadzora mora imati mogućnost ranog upozorenja i upravljanja rizikom kako bi se eksploatacijska platforma osigurala i pripremilo osoblje za potencijalno napuštanje platforme.

Integriranjem površinske i podvodne situacije omogućuje se nadzor okruženja platforme čime se postiže maksimalni učinak zaštite. Površinska i podvodna situacija u okruženju platformi može se nadzirati sustavom ranog upozorenja koji je moguće izvesti integriranjem sustava kao što su *RADAR*, *AIS*, *CCTV/IC* kamera i *SONAR*. Utvrđivanjem postojanja opasnosti sustavom ranog upozorenja pokreće se proces upravljanja rizikom kojim se nastoji ukloniti opasnost. Cilj procesa upravljanja rizikom je ukloniti potencijalnu opasnost na što većoj udaljenosti od sigurnosne zone oko platforme [10].

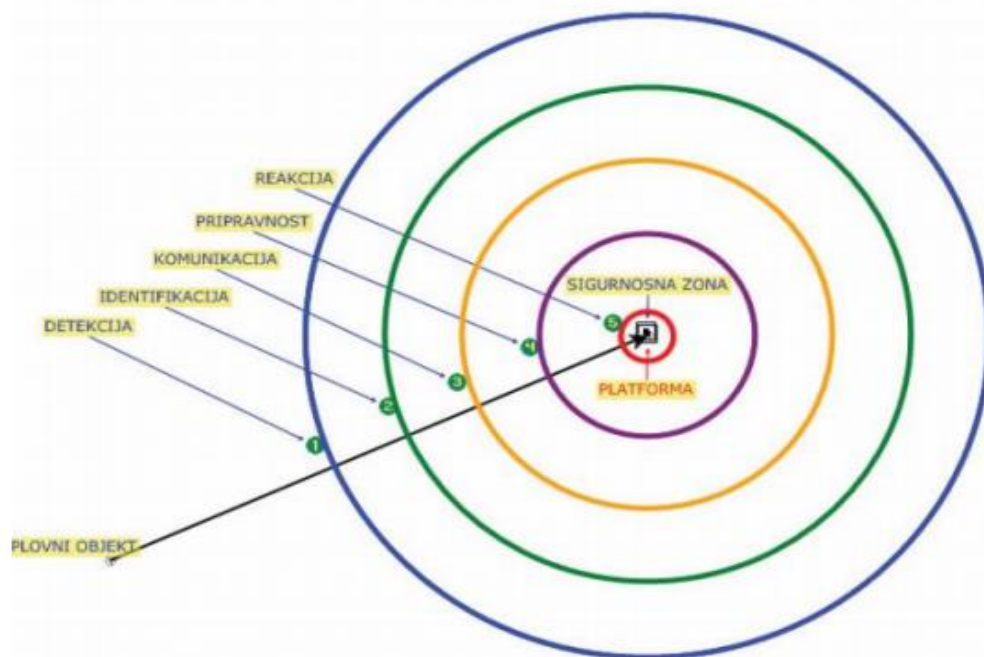
### 9.1. ULOGA I VAŽNOST SIGURNOSTI NA NAFTNIM PLATFORMAMA

Vađenje hlapivih tvari ponekad pod ekstremnim pritiskom u opasnom okruženju, znači rizik. Nesreće i tragedije događaju se često. Također, s obzirom na njihovu namjenu i specifičnost uvjeta morskog okoliša u kojem se nalaze okarakterizirani su kao objekti od nacionalnog interesa čije oštećenje može prouzrokovati ozbiljne i nesagledive posljedice za gospodarstvo i samo okruženje u kojem se nalaze. Njihov smještaj u morskom okruženju karakterizira ih kao izolirane i uočljive objekte bez prirodnih prepreka što ih čini izloženima i lako dostupnima. Način izvedbe i karakteristika platforme kao nepomičnog objekta, bez obzira na kvalitetu i konstrukcijsku izvedbu, čini ih osjetljivima na različite oblike oštećenja. U razdoblju od 1955. do 1965. godine dogodile su se 23 velike havarije pokretnih platformi. Britansko društvo za klasifikaciju brodova *Lloyd's Register of Shipping u Londonu* prvo je počelo preuzimati klasifikaciju platformi od 1958. godine, uz izdavanje svjedodžbi da je ta platforma solidno građena i da ima sve potrebne uvjete za siguran rad. *Lloyd* je izdao pravila za izgradnju i klasifikaciju pokretnih offshore jedinica. Od 1970. godine platforme građene pod nadzorom *Lloyd-a* na temelju spomenutih pravila dobivaju određenu klasu. Svrha sustava sigurnosti na platformi je zaštititi osoblje, okoliš i objekt od prijetnji koje mogu nastati namjerno ili nenamjerno [10].

## 9.2. VRSTE OPASNOSTI NA PLATFORMAMA

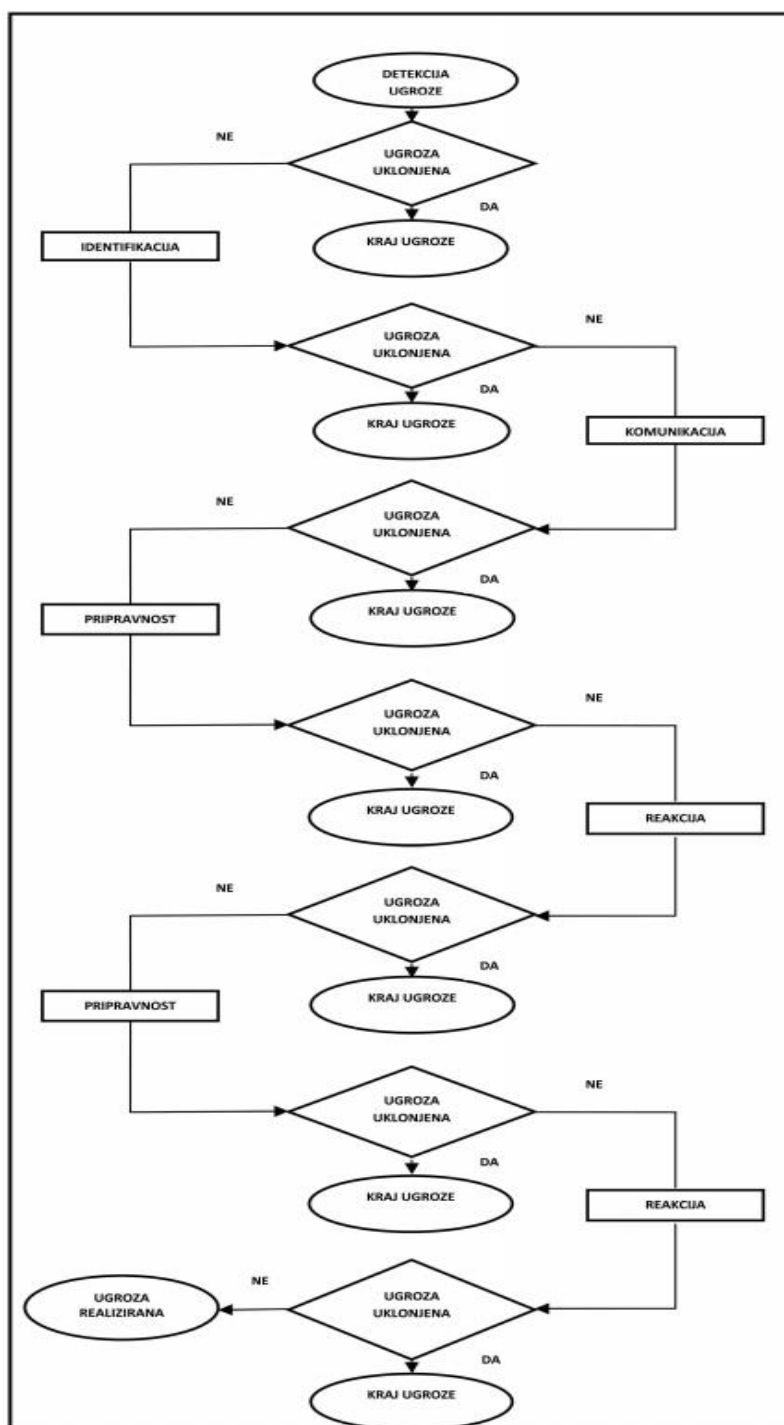
Opasnost na moru može dovesti do pomorskih nezgoda pri čemu se mogu ugroziti ljudski životi, brod, teret i okoliš. Međunarodna pomorska organizacija posebnu pozornost posvećuje pomorskim nezgodama kao što su potonuce, požar ili eksplozija tereta, požar ili eksplozija u stroju i dr. Uzroci nezgoda ili opasnosti često je ljudski čimbenik. Neznanje, nepridržavanje propisa, uputa i zapovijedi, te umor, strah i panika često mogu dovesti do raznih opasnosti na pomorskim postrojenjima. U ovu skupinu također spadaju neobavljanje redovitih pregleda, nepravilno održavanje u cjelini što se odnosi na kvarove strojeva, električnog postrojenja, dojavnog, navigacijskog, ventilacijskog, rashladnog i protupožarnog sustava, sustava kormilarenja, uređaja za rukovanje teretom i sidrenje i sl. Dok okolne opasnosti na platformama mogu biti namjerne i nenamjerne. Namjernim opasnostima smatraju se aktivnosti kojima je cilj izazivanje gospodarske i sociološke nestabilnosti. Nenamjerne opasnosti proizlaze iz pomorskog prometa, ribolovnih aktivnosti i drugih gospodarskih aktivnosti na moru i u podmorju, dok namjerne proizlaze iz kriminalnih i terorističkih aktivnosti, a usmjerene su na narušavanje sigurnosti platforme. Nenamjernim opasnostima smatraju se aktivnosti koje nisu prouzrokovane određenim ciljem nego propustom, nepažnjom ili tehničkim poteškoćama.

Na slici 61. prikazan je dijametralni prikaz faza uklanjanja opasnosti koje učestalo prijete na moru.



Slika 61. Dijametralni prikaz faza uklanjanja opasnosti [29]

U nastojanjima da se u određenoj mjeri poboljša sigurnost eksploatacijskih platformi te pripadajuće infrastrukture međunarodnom konvencijom o pravu mora i rezolucijom Međunarodne pomorske organizacije (*IMO*) određena je sigurnosna zona od 500 m oko odobalnih instalacija i struktura u kojoj se reguliraju plovidbene aktivnosti [10]. Na slici 62. prikazan je algoritam procesa odlučivanja uklanjanja opasnosti koji je izuzetno važan za ukoliko se ne poštuje sigurnosna zona od 500 m.



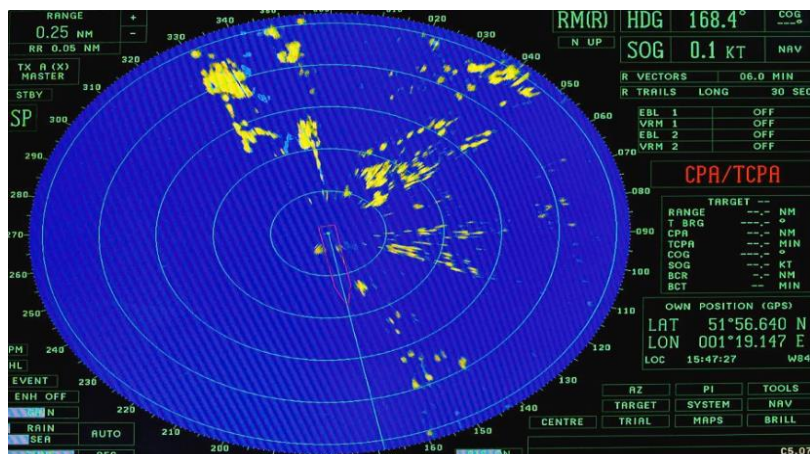
Slika 62. Algoritam procesa odlučivanja uklanjanja opasnosti [29]

### 9.3. SIGURNOSNI SUSTAVI ZA DETEKCIJU OPASNOSTI

Osnovna namjena sigurnosnih sustava za detekciju opasnosti je sprječavanje opasnosti prije nego nastane šteta. Ovi sustavi obuhvaćaju proces upravljanja rizikom kojim se nastoji ukloniti opasnost:

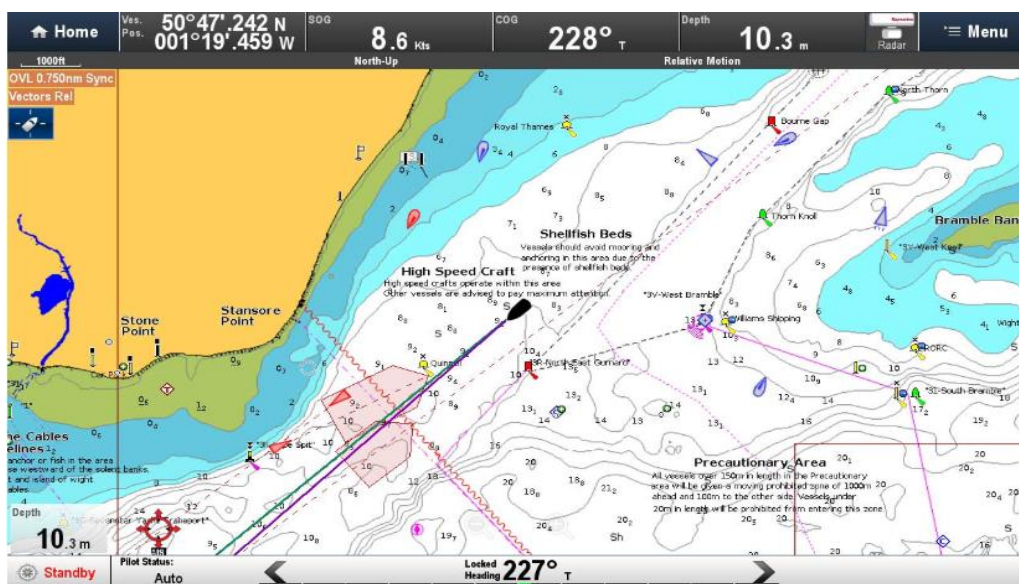
- *RADAR (eng. Radio Detection And Ranging),*
- *AIS (eng. Automatic identification system),*
- *CCTV/IC kamere (eng. Closed Circuit Television),*
- *SONAR (eng. Sound Navigation And Ranging).*

Radar je (eng. *Radio Detection And Ranging*) je uređaj za otkrivanje objekata na zemlji, moru i u zraku, pomoću radio valova. Radar radi na načelu radio valova, kako je već prije i spomenuto. Antena odašilje kratki impuls, koji se odbija od cilja. Na temelju vremena koje je proteklo do povratka zrake izračuna se udaljenost od objekta. Odašiljač brodskog radara je oscilator koji generira impulse *SHF (eng. Super Hight Frequency)* valnih dužina od dva do deset centimetara (*frekvencija od 3 GHz do 15 GHz*) vrlo velike snage (*do 100 kW*). Prijemnik brodskog radara je sklop koji pojačava i na ekranu prikazuje kao videosignale od kojih se formira panoramska slika područja određenog na određenom dometu [10]. Na slici 63. vidljiv je prikaz panoramske slike na ekranu radara.



Slika 63. Prikaz panoramske slike na ekranu RADARA [31]

Automatski identifikacijski sustav (eng. *Automatic identification system - AIS*), je sustav za obalno kratkodometno praćenje pomorskog prometa. AIS koristi *VHF* frekvencije za izmjenu podataka između pomorskih brodova i drugih morskih postrojenja, te za identifikaciju brodova koji se nalaze u njihovoj blizini [10]. Na slika 64. vidljiv je prikaz ekrana AIS sustava.



**Slika 64. Prikaz ekrana AIS sustava [32]**

AIS ima za cilj poboljšati sigurnost ljudskog života na moru, sigurnost u vođenju navigacije kao i pridonijeti zaštiti pomorskog okoliša. Primjene i odaslane informacije sadržavaju osnovne navigacijske podatke o brodovima i prikazuju se na odgovarajućim pokazivačima. AIS može biti integriran sa sustavom *RADAR-a* i drugim navigacijskim uređajima i/ili računalnom opremom.

*CCTV* (eng. *Closed Circuit Television*) video nadzor predstavlja zatvoren sustav video kamera koji svoj video signal prenosi na ograničen broj nadzornih mjesta. Video signal se prenosi do centralnog mjesta na kojem se vrši snimanje na *DVR* (eng. *Digital Video Recorder*) koji ujedno vrši prikaz video signala na monitor. Video nadzor jednako kao i drugi segmenti tehničke zaštite doživljava znatan rast u zadnjih nekoliko godina. Napredak tehnologije omogućio je upotrebu video nadzora u različite svrhe i uvelike proširio njegovu primjenu te učinio ovaj segment dostupnim velikom broju korisnika. Osim u svrhu prevencije od kaznenih djela poput provala, razbojništva, krađe, vandalizma, terorizma i sl., te identifikacije počinitelja, sustavi video nadzora se koriste i za nadzor proizvodnih procesa, detekciju požara na otvorenom prostoru te razne druge svrhe.

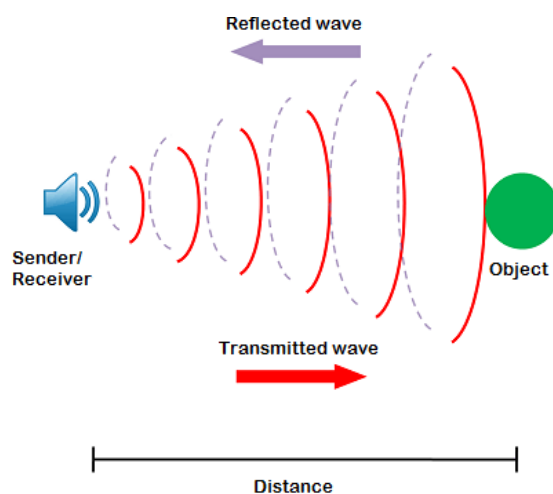
Bilo da se govori o vanjskom otkrivanju uljeza, sigurnosti objekta ili zaštiti ključnih prostora unutar samog objekta potrebno je procijeniti pojedine rizike i izgraditi rješenje video nadzora kombinirajući dokazane tehnike uz vodeću vrhunsku tehnologiju [10]. Na slika 65. prikazana je kontrola i snimanje termografskom kamerom.





**Slika 65. Prikaz snimanja termografskom kamerom [30]**

*SONAR* je skraćenica za podvodni električni lokator (*eng. Sound Navigation And Ranging*). To je elektroakustični uređaj za traženje i otkrivanjem određivanje daljine, dubine, smjera i za identifikaciju podvodnih pokretnih i nepokretnih objekata (*podmornica, mina, potopljenih brodova, podvodnih hridi, jata riba*). *SONAR* je razvijen još 1912. godine, a u primjenu je ušao nakon pomorske havarije *Titanika*. *SONAR* služi za navigaciju, oceanografska istraživanja i podvodnu vezu. Njegov princip rada se zasniva na osobinama prostiranja ultrazvučnih i zvučnih valova kroz vodu. On šalje zvučne impulse i odbijenu energiju prima kao jeku. Na osnovi izmjerenog vremenskog intervala određuje se istovremeno daljina, smjer, a kod nekih i dubina cilja. Sastoji se od izvora ultrazvuka ( $10 - 30 \text{ kHz}$ ) i prijemnika, tzv. hidroфона [10]. Na slika 66. prikazan je princip rada *SONAR* sustava.



**Slika 66. Princip rada *SONAR* sustava [33]**

## 10. ZAKLJUČAK

U sklopu ovog diplomskog rada provedena je detaljna analiza konstrukcije i tehnoloških obilježja naftnih platformi. Rastuća svjetska populacija te intenzivan industrijski razvoj nameću kontinuiranu potrebu za osiguravanjem dodatnih izvora energije što za posljedicu ima kontinuirano istraživanje novih područja s ciljem pronalaska novih ležišta i povećanja rezervi ugljikovodika. Zbog sve veće potrebe za sirovinama istražuju se područja koja su do sada bila slabo istražena i/ili područja čije je istraživanje bilo preskupo zbog složenih i zahtjevnih uvjeta.

Svaka nova tehnologija bušenja ima svoje prednosti, ali i ograničenja u primjeni jer se očekuje da, uz ispunjenje tehnoloških zahtjeva, bude ekonomski isplativa i ekološki prihvatljiva, a ujedno zahtijeva i ponešto drugačiji pristup bušenju i projektiranju bušotina.

Kroz ovaj diplomski rad pokazalo se da je kvalitetna konstrukcija naftne platforme neophodna za kvalitetno crpljenje naftnih derivata i vidljivo je da zaokuplja najveću pozornost što se tiče aspekta sigurnosti kod projektnih inženjera.

Rastući zahtjevi na tržištu u kombinaciji sa evidentno sve rigoroznijim ekološkim normama, stavljaju na proizvođače odobalnih objekata nove poslovne izazove koji za cilj imaju povećanje ekološke sigurnosti kao i poboljšanje kvalitete crpljenja. U diplomskom radu smo se upoznali sa većinom sustava koji koriste za svoj radni proces izvor napajanja kao što je dizel motor ili generator, koji pokreću sustav radnih dijelova kao što su: dlijeto, bušeća cijev, kelly pogon, rotacijski stol, rotacijski čvor, blok s kukom, spremnik blata i pumpa blata, uređaj za kontrolu krutih tvari, mehanizam dizalice itd..

Ovim diplomskim radom dan je uvid u važnost dobrog poznavanja karakteristika svih dijelova sustava. Dobro poznavanje karakteristika zauzima važnu ulogu za poznavanje samog procesa crpljenja podzemnih resursa jer osigurava poveznica između tehničko tehnoloških mogućnosti u odnosu na ekonomski aspekt proizvodnje.

Osim konstrukcije naftne platforme bitna je i sigurnost pogona. Diplomski rad detaljno opisuje sve sustave koji su implementirani u cilju poboljšanja sigurnosti boravka na naftnoj platformi. Rad današnjih odobalnih objekata nezamisliv je bez uporabe elemenata sigurnosnog sustava kao što je: radar, AIS, CCTV/IC kamere i SONAR. Ovi sigurnosni uređaji koje se ugrađuju na brod služe za poboljšanje sigurnosti prije svega zaposlenika i u svrhu očuvanja prirode.



Krajni cilj ovog diplomskog rada bio je opisati kompletnu primjenu naftnih platformi, kao i opisati radnu karakteristiku svakog od unutarnjih sustava, i njihove uvjete rada. Ovim radom smo obuhvatili sve karakteristike, tipove naftnih platformi i tehnologiju koja je ugrađena u njih, koja bi se trebala nalaziti na suvremenim bušotinama.

Ovaj diplomski radu dao je dobar uvid u složenost analiziranja i razmatranja odobalnog objekta, dodatno je približio problematiku koju je potrebno savladati da bi se provela jedna ovakva analiza, a time je ostvarena mogućnost daljnjeg bavljenja ovom problematikom.

## LITERATURA

- [1] Devold, H.: *Oil and gas production handbook, An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry*, Oslo, kolovoz 2013.  
URL: [https://library.e.abb.com/public/34d5b70e18f7d6c8c1257be500438ac3/Oil%20and%20gas%20production%20handbook%20ed3x0\\_web.pdf](https://library.e.abb.com/public/34d5b70e18f7d6c8c1257be500438ac3/Oil%20and%20gas%20production%20handbook%20ed3x0_web.pdf) (pristupljeno 12.10.2019.).
- [2] Fadiga, R.: *Rekonstrukcija samopodizjuće platforme Labin*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2015.  
URL: <https://repozitorij.rgn.unizg.hr/islandora/object/rgn:57/preview> (pristup: 12.10.2019.).
- [3] Novosel, M.: *Platforme za bušenje u dubokom moru*, Rudarsko geološko naftni fakultet, Zagreb, 2015.  
URL: <https://repozitorij.rgn.unizg.hr/islandora/object/rgn%3A191/datastream/PDF/view> (pristupljeno 12.10.2019.).
- [4] Draganja, D.: *Statička analiza fiksne rešetkaste platforme za rad u jadranskom moru*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014. (pristupljeno 12.10.2019.).  
URL: <http://repozitorij.fsb.hr/3013/1/Diplomski%20rad%20Duje%20Draganja.pdf>
- [5] Gaurina-Međimurec. N, Pašić. B, Mijić. P.: *Nove tehnologije izrade naftnih i plinskih bušotina*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske.  
URL: [https://bib.irb.hr/datoteka/898268.Nove\\_tehnologije\\_izrade\\_naftnih\\_i\\_plinskih\\_buotina.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/898268.Nove_tehnologije_izrade_naftnih_i_plinskih_buotina.pdf) (pristupljeno 12.10.2019.).
- [6] Kaiser. M. J, Snyder. B, Pulsipher. A.: *Offshore Drilling Industry and Rig Construction Market in the Gulf of Mexico*, Coastal Marine Institute, Ožujak, 2013.  
URL: <https://www.boem.gov/ESPIS/5/5245.pdf> (pristupljeno 12.10.2019.).
- [7] Mađor-Božinović, A.: *Postojeće stanje iskorištavanja nafte i plina u Jadranu*, Pomorski fakultet u splitu, Split, 2017.  
URL: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/pfst:329/preview> (pristupljeno 12.10.2019.).
- [8] Mutshaus, K.: *Brodovi za bušenje*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2018.  
URL: <https://repozitorij.unizg.hr/islandora/object/rgn:749/preview> (pristupljeno 12.10.2019.).
- [9] Wallin. M.: *An introduction to the offshore basics*, Turku university of applied sciences, 2014.  
URL: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76435/Wallin\\_Mikael.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76435/Wallin_Mikael.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (pristupljeno 12.10.2019.).

- [10] Malenica. I.; *Sigurnosni sustavi na platformama*, Sveučilište u splitu pomorski fakultet, Split, 2017.  
URL: <https://repozitorij.pfst.unist.hr/islandora/object/pfst%3A399/datastream/PDF/view>
- [11] *A brief history of oil and gas well drilling*, Siječanj - veljača 2012.  
URL: <http://www.visions.az/en/news/366/4ca556e3/> (pristupljeno 12.10.2019.).
- [12] Graczyk, T.: *Offshore installations*, Szczecin, 2010.  
URL: [http://www.kkmito.zut.edu.pl/dydaktyka/graczyk/212\\_Offshore%20installationsDeepwater%20Systems-2013.pdf](http://www.kkmito.zut.edu.pl/dydaktyka/graczyk/212_Offshore%20installationsDeepwater%20Systems-2013.pdf) (pristupljeno 12.10.2019.).
- [13] URL: <https://www.slideshare.net/EngElsayedAmer/rig-components-86164430>
- [14] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Floating\\_production\\_storage\\_and\\_offloading](https://en.wikipedia.org/wiki/Floating_production_storage_and_offloading)
- [15] URL: [http://ocw.utm.my/pluginfile.php/1080/mod\\_resource/content/0/Chapter\\_4OCW.pdf](http://ocw.utm.my/pluginfile.php/1080/mod_resource/content/0/Chapter_4OCW.pdf) (pristupljeno 12.10.2019.).
- [16] URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/semisubmersibles>
- [17] URL: <http://www.rock-drill-bit.com/atlas-copco.html> (pristupljeno 12.10.2019.).
- [18] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Oil\\_platform](https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_platform) (pristupljeno 12.10.2019.).
- [19] URL: <http://www.imo.org/en/Publications/Documents/Newsletters%20and%20Mailers/Mailers/I810E.pdf>
- [20] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/MARPOL\\_73/78](https://en.wikipedia.org/wiki/MARPOL_73/78) (pristupljeno 12.10.2019.).
- [21] URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fixed-platforms>
- [22] URL: <https://ngsuyasa.wordpress.com/2014/02/11/management-system-on-jackets-construction-of-oil-gas-platforms/>
- [23] Zadavec. D.; Krištafor. Z.; *Funkcionalni zahtjevi stabilnosti samopodižućih bušaćih platformi na radnoj poziciji*, Rudarsko geološki naftni fakultet, Zagreb.
- [24] Jelić-Mrčelić. G.; *Iskorištavanje nafte i plina iz podmorja*, Morske tehnologije, Pomorski fakultet Split. URL: <https://www.pfst.unist.hr/hr/> (pristupljeno 12.10.2019.).
- [25] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_components\\_of\\_oil\\_drilling\\_rigs](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_components_of_oil_drilling_rigs)
- [26] Pester-Kelčec. M.; *Dinamički model naftnog bušnog sustava*, Sveučilište u zagrebu fakultet strojarstva i brodogradnje, 2017.  
URL: [http://repozitorij.fsb.hr/7733/1/Kelcec-Pester\\_2017\\_diplomski.pdf.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/7733/1/Kelcec-Pester_2017_diplomski.pdf.pdf)
- [27] URL: <http://www.t-s-c.com/products-services/equipment-for-onshore-offshore-rigs/drill-floor-equipment/rotary-table/>

- [28] URL: <http://www.rgf.bg.ac.rs/predmet/RO/V%20semestar/masine%20i%20uredjaji%20za%20eksploataciju%20nafte%20i%20gasa/Predavanja/9Uredjaji%20za%20pripremu%20i%20cciscenje%20isplaccnih%20fluida.pdf>
- [29] Nekić, D, Ostović, Lj: *Sustav ranog upozorenja i upravljanja rizikom okolnih opasnosti eksploatacijskih platformi, stručni članak, Naše more 61(5-6)/2014. str. 111-117*  
URL: <https://hrcak.srce.hr/>
- [30] URL: [http://www.pergam.ru/catalog/thermal\\_imagers/morskie-teplovizory/teplovizory-voyager-iii.htm](http://www.pergam.ru/catalog/thermal_imagers/morskie-teplovizory/teplovizory-voyager-iii.htm)
- [31] URL: <https://fineartamerica.com/featured/container-ship-radar-screen-chris-sattlbergerscience-photo-library.html>
- [32] URL: <http://www.raymarine.com/view/blog/news/details/?ID=15032385552>
- [33] URL: <https://www.physics-and-radio-electronics.com/blog/sonar-or-sound-navigation-and-ranging/>
- [34] Radica. G; Literatura Pomorskog fakulteta Split; *Nastavni materijali*, Split, 2019.  
URL: <https://www.pfst.unist.hr/hr/> (pristupljeno 12.10.2019.).
- [35] URL: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektromotor> (pristupljeno 12.10.2019.).
- [36] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416303909>

## POPIS ILUSTRACIJA

Slika 1. Prikaz prve naftne bušotine iz muzeja <i>Drake Well</i> [1] .....	3
Slika 2. Prikaz istraživačkih područja na Jadranu [7] .....	6
Slika 3. Broj izbušenih bušotine na kopnu i moru u <i>RH</i> u razdoblju od 2006. do 2016. godine [5] .....	7
Slika 4. Udjel pojedinog tipa bušotine u ukupnom broju bušotina u <i>RH</i> izrađenih na kopnu i moru u razdoblju od 2006. do 2016. godine [5] .....	7
Slika 5. Usporedni prikaz broja bušotina u odnosu na duljinu njihova kanala u razdoblju od 2006. do 2016. godine [5] .....	8
Slika 6. Shematski prikaz podjele Jadrana [7] .....	9
Slika 7. 2D snimke potencijalne nakupine nafte u Jadranskom moru [7] .....	10
Slika 8. Najveća odobalna naftna polja [9] .....	11
Slika 9. Karta svijeta s prikazom zemalja potpisnica <i>MARPOL</i> konvencije [20] .....	18
Slika 10. Ovlaštenja i dužnosti prilikom provođenja <i>MARPOL</i> konvecije [9] .....	19
Slika 11. Prikaz valnog perioda i prirodnog perioda vibriranja konstrukcije [4] .....	23
Slika 12. Procedura proračuna sile vala i morske struje za statičku analizu [4] .....	23
Slika 13. Prikaz naftne platforme [18] .....	26
Slika 14. Prikaz različitih tipova odobalnih naftnih platformi [18] .....	28
Slika 15. Konvencionalna fiksna odobalna platforma od čeličnih nosača [22] .....	30
Slika 16. Prikaz gravitacijske fiksne platforme [22] .....	32
Slika 17. Prikaz odobalna naftna platforma s fleksibilnim tornjem [6] .....	33
Slika 18. Odobalna naftna platforma sa poduprtim čeličnim nogama (eng. Jack up) [2] .....	35
Slika 19. Postavljanje samopodizhuće platforme na zadanoj lokaciji [2] .....	38
Slika 20. Opterećenja uslijed utjecaja djelovanja radne okoline [23] .....	39
Slika 21. Perdido spar platforma [3] .....	41
Slika 22. Vrste spar platformi [3] .....	41
Slika 23. Klasična spar platforma [3] .....	43
Slika 24. Platforma s nategom u nogama [3] .....	45
Slika 25. Konstrukcija <i>TLP-a</i> [3] .....	46
Slika 26. Tipovi trupova <i>TLP</i> platforme [3] .....	47
Slika 27. Morpeth mini <i>TLP</i> [3] .....	49
Slika 28. Maksimalne sile naprezanja poluronjene naftne platforme [16] .....	50

Slika 29. Poluuronjiva naftna platforma [16].....	51
Slika 30. Prkaz autonomnog sustava naftne platforme [24].....	52
Slika 31. Bušaći brod sedme generacije [8] .....	53
Slika 32. Središnji otvor na trupu bušaćeg broda [8] .....	54
Slika 33. Shema bušaćeg broda sedme generacije [8] .....	55
Slika 34. FPSO diagram [14] .....	57
Slika 35. FPSO brod [14].....	58
Slika 36. Komponente sustava naftnih platformi [25] .....	59
Slika 37. Element rotirajućeg bušenja dlijeto [17].....	61
Slika 38. Shema sustava mehanizma koji daje okretni moment dlijetu [24] .....	64
Slika 39. Karakteristične značajke cijevi za bušenje [26] .....	65
Slika 40. Bušeća cijev [25].....	67
Slika 41. Izvijanje cijevi dijelovanjem opterećenja [26].....	67
Slika 42. Kelly pogon [13] .....	68
Slika 43. Rotacijski stol [27] .....	70
Slika 44. Rotacijski čvor [13].....	71
Slika 45. Blok s kukom [13].....	71
Slika 46. Prikaz mehanizma vučnog bloka [13].....	72
Slika 47. Pojasne kočnice bubnja s užetom [26].....	73
Slika 48. Cirkulacijski sistem isplake [13].....	74
Slika 49. Shematski prikaz spremnika isplake [13] .....	75
Slika 50. Pumpa blata [13] .....	76
Slika 51. Troklipna jednoradna isplaćna pumpa [28].....	77
Slika 52. Uređaj za kontrolu krutih tvari [13] .....	79
Slika 53. Jednoslojno i višeslojno vibracijsko sito [28] .....	80
Slika 54. Tipovi bušotina s obzirom na položaj kanal u podzemlju [5].....	81
Slika 55. Sklop za usmjereno bušenje s osnovnim komponentama [5] .....	83
Slika 56. Prikaz odnosa mjerene duljine kanala i stvarne vertikalne dubine kanala bušotine [5] .....	86
Slika 57. Prikaz motora s unutarnjim izgaranjem koji je izvor napajanja [34] .....	89
Slika 58. Prikaz generatora koji služi za opskrbu električne energije [13] .....	90
Slika 59. Elektromotor [35].....	91
Slika 60. Shematski prikaz postrojenja za napajanje električnom energijom [36] .....	92
Slika 61. Dijametralni prikaz faza uklanjanja opasnosti [29] .....	94

Slika 62. Algoritam procesa odlučivanja uklanjanja opasnosti [29] .....	95
Slika 63. Prikaz panoramske slike na ekranu radara [31] .....	96
Slika 64. Prikaz ekrana <i>AIS</i> sustava [32].....	97
Slika 65. Prikaz snimanja termografskom kamerom [30] .....	98
Slika 66. Princip rada <i>SONAR</i> sustava [33] .....	98

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Zemlje s najvećim dokazanim rezervama nafte [9] .....	13
Tablica 2. Zemlje koje proizvode najviše nafte [9].....	13